Agriculture et Agroalimentaire Canada
Agriculture and Agri-Food Canada

Biologie et lutte intégrée contre les cicadelles et les maladies à phytoplasmes des vignobles de l'est du Canada

Bulletin technique

DIVISION DE AGCORD

Canada

Biologie et lutte intégrée contre les cicadelles et les maladies à phytoplasmes des vignobles de l'est du Canada

Auteurs:

- **Julien Saguez** (Ph.D.), Agriculture et Agroalimentaire Canada, Saint-Jean-sur-Richelieu, Québec, Canada. saguezj@yahoo.com
- **Chrystel Olivier** (Ph.D.), Agriculture et Agroalimentaire Canada, Saskatoon, Saskatchewan, Canada. chrystel.olivier@agr.gc.ca
- **Jacques Lasnier**, Président, Co-Lab R&D, division d'Ag-Cord Inc., Granby, Québec, Canada. jlasnier@translog.ca
- **Andy Hamilton** (Ph.D.), Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa, Ontario, Canada. andy.hamilton@agr.gc.ca
- **Lorne Stobbs** (Ph.D.), Agriculture et Agroalimentaire Canada, Vineland, Ontario, Canada. lorne.stobbs@agr.gc.ca
- **Charles Vincent** (Ph.D.), Agriculture et Agroalimentaire Canada, Saint-Jean-sur-Richelieu, Québec, Canada. charles.vincent@agr.gc.ca

Les opinions et déclarations contenues dans cette publication n'engagent que les auteurs et ne reflètent pas nécessairement la politique d'Agriculture et Agroalimentaire Canada ou celle du gouvernement du Canada.

Photo de la page couverture: vignobles appartenant au Vignoble Gagliano (à l'avant-plan) et au Vignoble de l'Orpailleur (à l'arrière-plan), à Dunham, Québec.

Mise en page et graphisme par Versicolore design inc.

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada (2015)

No de catalogue A59-32/2015F-PDF
ISBN 978-0-660-03067-8
No AAC 12429F

Issued also in English under the title:
Biology and integrated management of leafhoppers and phytoplasma diseases in vineyards of eastern Canada

Avant-propos

Les viticulteurs de l'est du Canada doivent composer avec diverses espèces d'insectes nuisibles et maladies qui leur sont peu familières et qui peuvent avoir des impacts considérables sur le rendement de leur vignoble. En plus de se nourrir directement sur le feuillage des vignes dont elles comptent parmi les nombreux insectes ravageurs, les cicadelles sont vectrices de pathogènes causant diverses maladies, dont des maladies à phytoplasmes.

Ce bulletin technique a pour but de faciliter l'identification des principales espèces de cicadelles et plantes réservoirs et la détection des phytoplasmes dans les vignobles de l'est du Canada. Il présente diverses méthodes pour lutter contre les populations de cicadelles et réduire le risque de transmission des phytoplasmes. On y trouve également une brève description des méthodes d'élevage et d'analyse utilisées pour étudier le système vigne–cicadelles–phytoplasmes.

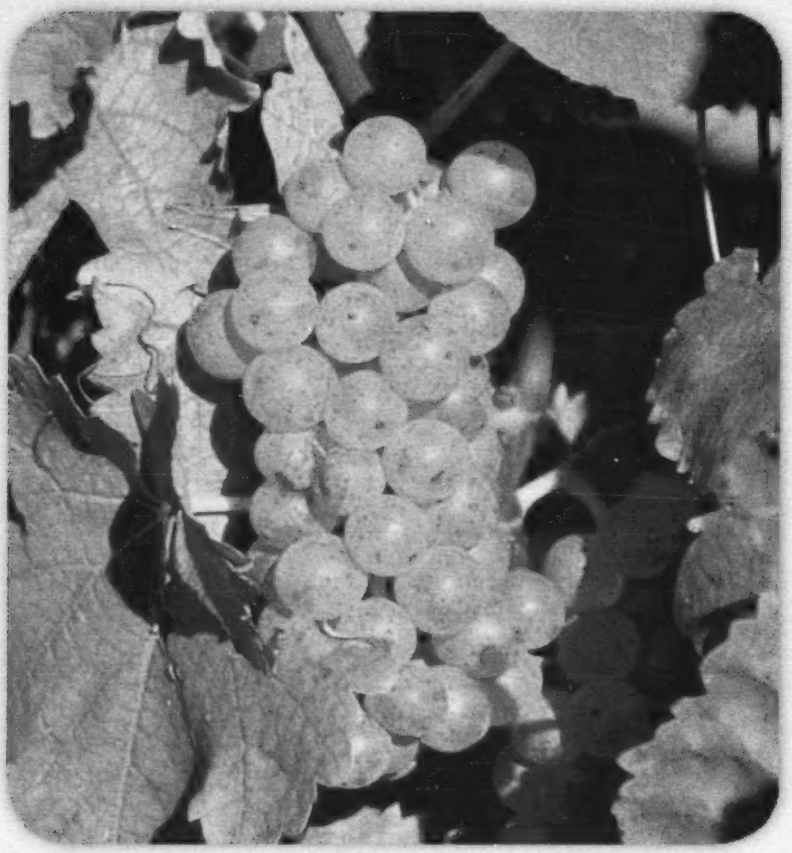

Table des matières

Liste des figures 5

Liste des tableaux 7

Introduction 8

1. La viticulture dans l'est du Canada 9

    1.1. Climat et terroir 9

    1.2. Pratiques culturales viticoles 10

    1.3. Cépages cultivés dans chaque province 13

2. Cicadelles 15

    2.1. Biologie 15

    2.2. Principales espèces de cicadelles associées aux vignobles de l'est du Canada 19

3. Dommages infligés par les cicadelles 31

    3.1. Dommages directs 32

    3.2. Dommages indirects: transmission de maladies 33

4. Maladies à phytoplasmes de la vigne 34

    4.1. Que sont les phytoplasmes? 34

    4.2. Principales maladies à phytoplasmes 37

    4.3. Détection et identification des maladies à phytoplasmes 38

    4.4. Autres causes de jaunissement 40

5. Protection des vignobles contre les cicadelles et les phytoplasmes 42

    5.1. Lutte intégrée contre les mauvaises herbes et entretien des vignobles et secteurs adjacents 42

    5.2. Surveillance et contrôle des cicadelles 52

    5.3. Prévention 56

6. Techniques d'étude 57

    6.1. Élevage des cicadelles 57

    6.2. Maintien des souches de phytoplasmes 58

    6.3. Études histologiques 59

    6.4. Analyse électropénétrographique du comportement d'alimentation des cicadelles 60

Conclusion 62

Références 63

Sources Internet 67

Remerciements 68

Liste des figures

Fig. 1. Couvert végétal inter-rangs: a) enherbé (Ontario); b) non-enherbé (Québec), enherbé (Nouvelle-Écosse).

Fig. 2. Prétaille automnale au Québec: a) à c) vignes; d) à f) diverses opérations de taille; g) aspect des vignes après la taille printanière en Ontario.

Fig. 3. Buttage: a) et b) machine agricole utilisée pour le buttage au Québec; c) ceps buttés; d) rangs buttés au début de l'hiver (cépage pour vin de glace – grappes dans les filets); e) rangs non buttés en hiver dans un vignoble de Nouvelle-Écosse.

Fig. 4. Protection des ceps à l'aide de membranes géotextiles au Québec: a) et b) vues générales; c) membranes géotextiles recouvertes avec de la terre.

Fig. 5. Différents types d'œufs de cicadelles: a) et b) œufs d'*Erythroneura ziczac* pondus en grappes; c) œufs d'*Erythroneura vitis* déposés individuellement le long des nervures; d) œufs de *Macrosteles quadrilineatus* déposés individuellement sous l'épiderme. Les flèches indiquent l'emplacement des œufs.

Fig. 6. Étapes de l'éclosion des œufs de cicadelles: a) œufs dans l'épiderme; b) éclosion; c) nymphe néonate.

Fig. 7. Exuvie de cicadelle.

Fig. 8. Nymphes des premier, deuxième et troisième stades d'*Erythroneura vitis*.

Fig. 9. Mue imaginale.

Fig. 10. Genitalia de cicadelles: a) femelle; b) mâle. La flèche blanche montre l'ovipositeur.

Fig. 11. Accouplement.

Fig. 12. Cicadelles en train de pondre.

Fig. 13. *Empoasca fabæ*: a) adulte; b) nymphe.

Fig. 14. *Erythroneura comes* adulte (Photo © Yurika Alexander).

Fig. 15. *Erythroneura elegantula*: a) adulte; b) nymphe.

Fig. 16. *Erythroneura tricincta*: a) adulte; b), c) et d) nymphes des deuxième, troisième et cinquième stades, respectivement.

Fig. 17. *Erythroneura vitifex* adulte.

Fig. 18. *Erythroneura vitis*: a) adulte; b) nymphes des deuxième et troisième stades; c) nymphe de cinquième stade; d) jeune adulte à côté de son exuvie.

Fig. 19. *Erythroneura vulnerata*: a) adulte; b) nymphe.

Fig. 20. *Erythroneura ziczac*: a) adulte; b) jeune adulte sans sa coloration définitive; c) œufs; d) nymphes de troisième stade présentant des motifs de coloration différents; e) nymphe de quatrième stade et son exuvie.

Fig. 21. *Macrosteles quadrilineatus*: a) adulte; b) nymphe.

Fig. 22. *Scaphoideus titanus*: a) adulte (Photo © Ilona Loser); b) nymphe (Photo © Kenneth E. Barnett).

Fig. 23. Pièces buccales de type piqueur-suceur de trois espèces de cicadelles. Les stylets sont indiqués par des flèches noires.

Fig. 24. Dommages causés au feuillage de deux cépages: a) Vidal; b) Seyval blanc.

Fig. 25. Symptômes de brûlure de la cicadelle sur feuille de vigne.

Fig. 26. Cycle des phytoplasmes (points rouges): a) acquisition; b) dispersion dans le corps de la cicadelle; c) transmission. Les flèches indiquent le sens du flux des phytoplasmes entre la cicadelle et les tissus de la plante.

Fig. 27. Phytoplasmes observés par microscopie électronique: a) phytoplasme isolé (Photo Caudwell et al., 1982); b) phytoplasmes dans des vaisseaux du phloème (Photo © INRA Dijon).

Fig. 28. Symptômes de jaunisse sur cépages blancs: a) à d) symptômes sur feuilles; e) aspect général; f) symptômes sur raisins (à gauche: grappe saine; à droite: grappe infectée).

Fig. 29. a) à e) Symptômes de jaunisse sur feuilles de cépages rouges.

Fig. 30. Dessin schématique d'un phytoplasme.

Fig. 31. Détection de l'ADN des phytoplasmes sur gel d'agarose.

Fig. 32. Tétranyque à deux points (*Tetranychus urticæ*) (Photo Jacques Lasnier).

Fig. 33. Dommages infligés à des vignes par des acariens phytophages: a) aspect général d'une vigne infectée par des acariens; b) et c) jaunissement du feuillage; d) feuille enroulée.

Fig. 34. Taille mécanique visant à uniformiser la hauteur et la largeur des vignes.

Fig. 35. Travail du sol: a) hersage; b) désherbage mécanique; c) désherbage manuel.

Fig. 36. Bandes enherbées entre les rangs d'un vignoble: a) au Québec; B) en Ontario (Photo Jacques Lasnier).

Fig. 37. a) Vignoble de Nouvelle-Écosse avec une zone enherbée entre les rangs, b) portion d'un vignoble envahi par diverses espèces de mauvaises herbes (Photos Jacques Lasnier).

Fig. 38. La vigne des rivages et la vigne vierge peuvent servir de refuge aux cicadelles.

Fig. 39. Amaranthe de Powell (*Amaranthus powellii*).

Fig. 40. Petite herbe à poux (*Ambrosia artemisiifolia*): a) vue générale; b) plante isolée.

Fig. 41. Renouée liseron (*Fallopia convolvulus*) (anciennement *Polygonum convolvulus*).

Fig. 42. Digitaire sanguine (*Digitaria sanguinalis*).

Fig. 43. Galinsoga cilié (*Galinsoga quadriradiata*): a) vue générale; b) détail.

Fig. 44. Luzerne (*Medicago sativa*).

Fig. 45. Oxalide d'Europe (*Oxalis stricta*).

Fig. 46. Renouée persicaire (*Persicaria vulgaris*) (anciennement *Polygonum persicaria*).

Fig. 47. Phléole des prés (*Phleum pratense*).

Fig. 48. Plantain à feuilles lancéolées (*Plantago lanceolata*).

Fig. 49. Plantain majeur (*Plantago major*).

Fig. 50. Pourpier potager (*Portulaca oleracea*): a) vue générale; b) détail.

Fig. 51. Lychnide blanche (*Silene pratensis*) (anciennement *Lychnis alba*).

Fig. 52. Verge d'or du Canada (*Solidago canadensis*).

Fig. 53. Aster de la Nouvelle-Angleterre (*Symphyotrichum novæ-angliæ*) (anciennement *Aster novæ-angliæ*): a) vue générale; b) détail.

Fig. 54. Aster simple (*Symphyotrichum lanceolatum* (anciennement *Aster simplex*): a) vue générale; b) détail.

Fig. 55. Trèfle rouge (*Trifolium pratense*).

Fig. 56. Vesce jargeau (*Vicia cracca*).

Fig. 57. Échantillonnage de cicadelles à l'aide d'un filet fauchoir (Photo Jacques Lasnier).

Fig. 58. Dépistage des cicadelles à l'aide de pièges jaunes collants: a) piège fraîchement installé; b) piège après une semaine.

Fig. 59. Échantillonnage des cicadelles par battage: a) équipement; b) technique.

Fig. 60. Épandage de pesticides en vignobles: a) pulvérisateur pneumatique au Québec, b) pulvérisateur récupérateur en Ontario (Photo Queen's Printer for Ontario 2015. Reproduced with permission); c) pulvérisateur pneumatique en Ontario (Photo Wendy McFadden-Smith).

Fig. 61. *Anystis baccarum* attaquant une nymphe de cicadelle: a) au niveau de l'œil; b) par une patte.

Fig. 62. Élevage de cicadelles dans des boîtes de Petri: a) et b) montage pour élevage; c) montage après une semaine.

Fig. 63. Coloration à l'aide de bleu de trypan révélant l'emplacement des piqûres effectuées par les cicadelles: a) piqûres de cicadelles dans une feuille de vigne; b) gaine salivaire d'une cicadelle du genre *Erythroneura*; c) piqûre de *Macrosteles quadrilineatus* dans une feuille d'orge.

Fig. 64. Coupe transversale d'une feuille de vigne montrant les différents types de tissus (Source: Saguez et al. 2015).

Fig. 65. Électropénétrographie: a) électrode positive; b) cicadelle (flèche blanche) connectée à l'électrode positive et en contact avec la feuille (FC: fil de cuivre; FO: fil d'or; CA: colle d'argent).

Fig. 66. Électropénétrogrammes: a) profil global d'une heure (np: non-pénétration; A: attaque; C: alimentation dans le mésophylle; G: alimentation dans le xylème); b) signal caractéristique lors de l'alimentation dans le mésophylle (10 minutes); c) signal caractéristique lors de l'alimentation dans le xylème (10 minutes) (Source: Saguez et al. 2015).

Liste des tableaux

Tableau 1. Superficies affectées à la culture du raisin, production commerciale et valeur à la ferme dans l'est du Canada (Source: Statistique Canada 2012)

Tableau 2. Principaux cépages cultivés en Ontario (Source: Grape Growers of Ontario 2014)

Tableau 3. Principaux cépages cultivés au Québec (Source: Association des vignerons du Québec 2014)

Tableau 4. Principaux cépages cultivés en Nouvelle-Écosse (Source: Winery Association of Nova Scotia 2014)

Tableau 5. Espèces de cicadelles les plus abondantes dans les vignobles de l'est du Canada

Introduction

Les cicadelles peuvent infliger des dommages considérables dans les vignobles canadiens, en particulier lorsque leurs populations atteignent des densités élevées. Depuis 2006, plusieurs entomologistes d'Agriculture et Agroalimentaire Canada participent à divers programmes de recherche visant à évaluer la biodiversité des cicadelles et la prévalence des maladies à phytoplasmes dans les vignobles de l'est du Canada. La présente recherche a été menée en collaboration avec de nombreux viticulteurs et une entreprise du secteur privé, Co-Lab R&D une division d'Ag-Cord Inc.

Les cicadelles peuvent être vectrices de nombreux agents phytopathogènes, dont les phytoplasmes, qui sont des bactéries appartenant à la classe des Mollicutes. La lutte contre les phytoplasmes est effectuée par des méthodes indirectes car il n'existe actuellement aucun produit commercial homologué pour la lutte contre ces microorganismes au Canada. L'étude des phytoplasmes est difficile, car leur culture est à ce jour irréalisable en laboratoire (sauf un cas expérimental rapporté récemment). Les maladies à phytoplasmes touchent de nombreuses familles de plantes. Chez la vigne, elles sont appelées collectivement « jaunisses de la vigne ».

Le présent bulletin technique débute par un bref survol de l'industrie viticole de l'est du Canada. Suivent ensuite des informations sur le cycle vital et la biologie des cicadelles présentes dans les vignobles et des fiches d'information illustrées sur les espèces d'importance économique les plus abondantes dans l'est du Canada. Une section décrit les dommages infligés par les cicadelles et le mode de transmission des phytoplasmes, avec des illustrations montrant leurs effets chez les vignes infectées. Ce bulletin fournit aussi des informations sur les méthodes utilisées pour collecter les cicadelles, reconnaître les plantes potentiellement infectées par des phytoplasmes et détecter les phytoplasmes dans des échantillons de feuilles et d'insectes. Les aspects réglementaires et les mesures phytosanitaires associés à la lutte contre les phytoplasmes sont ensuite passés en revue. Une dernière section examine les diverses techniques permettant d'apprécier les particularités et les difficultés associées à l'étude du système tritrophique vigne–cicadelles–phytoplasmes (Saguez et al. 2009).

Destiné aux viticulteurs, aux agronomes, aux intervenants du secteur viticole, aux techniciens et aux étudiants, ce bulletin technique résume les résultats des travaux menés au cours des dernières années par l'équipe de recherche des auteurs (voir également Olivier et al. 2010 ; Saguez et al. 2014; Vincent et al. 2015) et passe en revue les percées réalisées dans le domaine de la recherche sur les phytoplasmes dans les vignobles. Il explique également comment identifier les principales espèces de cicadelles associées aux vignobles de l'est du Canada et reconnues vectrices de phytoplasmes, reconnaître les plantes qui constituent des réservoirs de phytoplasmes et choisir des méthodes pour le dépistage des cicadelles et des maladies à phytoplasmes dans les parcelles.

1. La viticulture dans l'est du Canada

Dans l'est canadien, la viticulture est pratiquée en Ontario, au Québec, en Nouvelle-Écosse, au Nouveau-Brunswick et à l'Île-du-Prince-Édouard. En 2010, la superficie totale affectée à la culture des raisins de table et des raisins destinés à la vinification s'élèvait à 8 249 ha, pour une production commerciale de 64 027 t et une valeur à la ferme de 76,1 millions de dollars (Tableau 1).

Tableau 1. Superficies affectées à la culture du raisin, production commerciale et valeur à la ferme dans l'est du Canada (Source: Statistique Canada 2012)

	Superficies en culture (ha)			Production commerciale (t)			Valeur à la ferme (M $)		
Province	2000	2005	2010	2000	2005	2010	2000	2005	2010
Ontario	6 313	7 325	7 133	55 000	28 950	61 759	44,12	23,78	72,32
Québec	107	227	612	575	663	1,303	0,75	0,44	2,45
Nouvelle-Écosse	—	111	466	—	575	904	—	0,75	1,24
Nouveau-Brunswick	—	0	29	—	0	45	—	0	0,06
Île-du-Prince-Édouard	—	0	9	—	0	16	—	0	—
Canada	6 420	7 663	8 249	55 575	30 188	64 027	44,87	24,97	76,07

Entre 2000 et 2010, les superficies affectées à la viticulture et la production viticole ont augmenté de 30 % et la valeur à la ferme a doublé. Ces chiffres témoignent de la demande et de l'intérêt croissants des consommateurs pour les vins produits localement. La viticulture est pratiquée dans des régions bien précises dans les provinces susmentionnées. En Ontario, les principales régions viticoles sont la péninsule du Niagara, la rive nord du lac Érié, l'île Pelée et le comté du Prince Edouard. Au Québec, la plupart des vignobles se trouvent dans le sud de la province, dans les cantons de l'Est et en Montérégie. En Nouvelle-Écosse, les vignobles se trouvent dans la péninsule de Malagash et dans les vallées d'Annapolis et des rivières LaHave et Bear. Au Nouveau-Brunswick, la plupart des entreprises vinicoles sont situées dans le sud de la province entre Saint-Jean et Moncton, et entre la baie de Fundy et la côte de l'Atlantique.

1.1. Climat et terroir

Étant donné la diversité des conditions climatiques et géographiques de l'est du Canada, les cépages et les pratiques culturales peuvent différer d'un vignoble à l'autre et d'une province à l'autre. La température, le vent, le degré d'ensoleillement et les précipitations varient en fonction de l'exposition, de l'altitude et de l'orientation du vignoble. La structure et la composition du sol varient également considérablement. Toutes ces caractéristiques contribuent à créer un terroir particulier (combinaison de facteurs incluant les conditions édaphiques, topographiques et climatiques) pour chaque vignoble. Les combinaisons porte-greffe–cépages diffèrent considérablement au niveau de leur capacité d'adaptation aux conditions environnementales, de leur rendement, de leur qualité, et de leur résistance aux ravageurs et aux maladies (Creasy et Creasy 2009).

1.2. Pratiques culturales viticoles

Comme les conditions climatiques et le terroir diffèrent d'une région à l'autre, les viticulteurs établissent leur vignoble sous des conditions différentes et utilisent des pratiques culturales et des cépages adaptés aux divers écosystèmes. La vigne est une plante vivace rustique qui peut pousser et survivre sous des conditions climatiques variées dans des régions diverses. Toutefois, pour offrir un rendement commercial durable, les vignes ont besoin d'un sol bien drainé, de chaleur et d'un apport approprié en eau et en éléments nutritifs (Creasy et Creasy 2009). Les pratiques culturales ont pour but non seulement de protéger les vignes des conditions environnementales rigoureuses mais aussi de tenir les populations de ravageurs et les maladies en échec. Les pratiques culturales suivantes peuvent avoir un impact direct et indirect sur les populations de cicadelles et la présence de phytoplasmes dans les vignobles.

Plantation

L'espacement entre les plants d'un même rang et entre les rangs dépend du cépage choisi et donne des conditions de couvert végétal et des densités de feuillage très différentes. Par exemple, plusieurs viticulteurs ontariens cultivent la vigne avec des espacements entre les plants de 1,2m sur le rang et de 2,4m entre les rangs. Au Québec, les ceps sont plus rapprochés (0,75–1,2 m), ce qui donne un couvert végétal plus dense. Comme le schéma de plantation influe sur les déplacements des cicadelles, la gestion de la densité du feuillage des vignes peut être utilisée comme une stratégie de lutte pour réduire les populations de cicadelles (Lessio et Alma 2004).

Irrigation

Certains viticulteurs recourent à l'irrigation déficitaire régulée (IDR), une pratique qui permet de gérer le stress hydrique chez les vignes de manière à réduire la taille et accroître la qualité des raisins. En diminuant soigneusement les apports d'eau, il est possible de réduire la vigueur des vignes sans compromettre leur rendement. Un système d'IDR contribue également à réduire la densité et la fécondité des cicadelles et à restreindre la dispersion des adultes (Daane et Williams 2003).

Travail du sol

Certains viticulteurs laissent pousser des graminées entre les rangs (Fig. 1a), tandis que d'autres préfèrent travailler le sol pour y éliminer complètement la végétation (Fig. 1b). Dans certains cas, l'enherbement permanent des inter-rangs a été associé à une réduction de la densité des cicadelles à la fin de la saison (Costello et Daane 2003). Le maintien d'un couvert végétal et le choix des graminées peuvent également avoir un impact sur la biodiversité des cicadelles dans les vignobles, et certaines plantes peuvent servir de réservoirs à phytoplasmes (voir la § 5.1. *Lutte contre les mauvaises herbes et entretien des vignobles et des secteurs adjacents*).

Fig. 1. Couvert végétal inter-rangs : a) enherbé (Ontario); b) non-enherbé (Québec), c) enherbé (Nouvelle-Écosse).

Tailles automnale et printanière

La taille des vignes est une pratique agronomique qui est utilisée avec succès en Europe pour lutter contre les maladies à phytoplasmes, car elle favorise le rétablissement des vignes en les exposant à des stress abiotiques (Riedle-Bauer et al. 2010). Dans l'est du Canada, certains viticulteurs effectuent une prétaille en automne (Fig. 2). Cette pratique consiste à éliminer la majeure partie des rameaux de l'année. Au printemps, la taille a pour but d'éliminer les rameaux endommagés par le gel durant l'hiver. Bien que réalisées pour d'autres raisons, ces tailles pourraient également permettre de réduire les taux de phytoplasmes dans les vignes.

Fig. 2. Prétaille automnale au Québec : a) à c) vignes; d) à f) diverses opérations de taille. g) aspect des vignes après la taille printanière en Ontario.

Protection hivernale: buttage et installation d'une membrane géotextile

Le buttage (Fig. 3) est une étape de protection cruciale dans les vignobles de climat froid. Cette opération pratiquée dans certains vignobles québécois vise à protéger certains cultivars plus sensibles aux rigueurs de l'hiver et en particulier au gel. Elle consiste à recouvrir les ceps d'un monticule de terre d'environ 50 cm de hauteur en ramenant de la terre d'entre les rangs. Cette opération est réalisée à l'aide de machines agricoles spécialisées. Le renchaussage ainsi créé et le besoin de semer chaque année font en sorte que les viticulteurs préfèrent ne pas enherber le sol entre les rangs. Les buttes de terre sont enlevées au printemps, après le dernier gel. Depuis quelques années, le réchauffement climatique se faisant sentir et les hivers étant moins rigoureux, certains viticulteurs utilisent des membranes géotextiles pour protéger leurs vignes du froid. Une fois la prétaille effectuée, ils recouvrent leurs ceps d'une membrane géotextile qui réduit les effets du froid et du gel (Fig. 4).

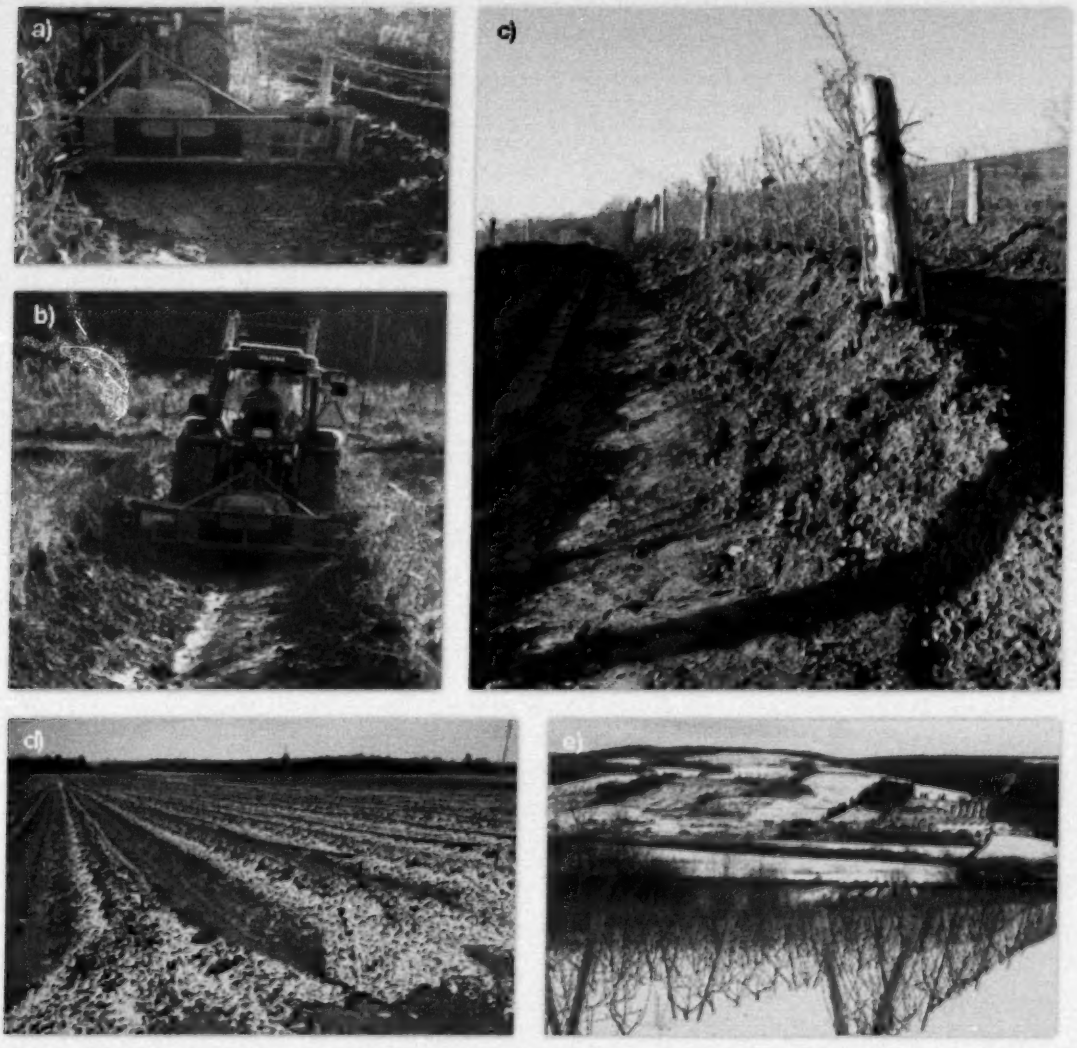

Fig. 3. Buttage: a) et b) machine agricole utilisée pour le buttage au Québec; c) ceps buttés; d) rangs buttés au début de l'hiver (cépage pour vin de glace – grappes dans les filets); e) rangs non buttés en hiver dans un vignoble de Nouvelle-Écosse.

Fig. 4. Protection des ceps à l'aide de membranes géotextiles au Québec: a) et b) vues générales; c) membranes géotextiles recouvertes avec de la terre.

1.3. Cépages cultivés dans chaque province

Les cépages cultivés en Ontario, au Québec et en Nouvelle-Ecosse (Tableaux 2 à 4) diffèrent selon les conditions climatiques propres à chaque province et, dans une certaine mesure, en fonction des préférences des consommateurs. Quoi qu'il en soit, la résistance aux maladies à phytoplasmes varie considérablement d'un cépage à l'autre. Par exemple, le Chardonnay et le Riesling sont plus vulnérables aux maladies à phytoplasmes en Europe (Constable 2010), alors qu'au Canada le Sauvignon blanc, le Cabernet franc, le Shiraz/Syrah et le Cabernet Sauvignon semblent plus vulnérables (Olivier et al. 2014). En conséquence, selon le cépage choisi, l'abondance relative des cicadelles et le risque de maladies à phytoplasmes peuvent varier tant à l'intérieur d'une même province que d'une province à l'autre.

Tableau 2. Principaux cépages cultivés en Ontario
(Source: Grape Growers of Ontario 2014)

Blanc	Rouge
Auxerrois	Baco noir
Chardonnay	Cabernet franc
Gewürztraminer	Cabernet Sauvignon
Pinot blanc	Chambourcin
Pinot gris	Gamay noir
Riesling	Maréchal Foch
Sauvignon blanc	Merlot
Sémillon	Pinot noir
Seyval blanc	Shiraz/Syrah
Vidal	Zweigeltrebe
Viognier	

Tableau 3. Principaux cépages cultivés au Québec
(Source: Association des vignerons du Québec 2014)

Blanc	Rouge
Adalmiina	Baco noir
Cayuga blanc	Baltica
Chardonnay	Beta
Delisle	Chambourcin
Eona	Chancellor
Frontenac gris	De Chaunac
Geisenheim	Frontenac
Hibernal	Gamay
Kay Gray	Léon Millot
La Crescent	Lucy Kuhlmann
Louise Swenson	Maréchal Foch
Osceola Muscat	Marquette
New York Muscat	Petite perle
Prairie Star	Pionnier
Riesling	Radisson
Saint Cliche	Sabrevois
St. Pépin	St. Croix
Seyval blanc	Seyval noir
Swenson blanc	Skandia
Traminette	
Vandal-Cliche	
Vidal	

Tableau 4. Principaux cépages cultivés en Nouvelle-Écosse (Source: Winery Association of Nova Scotia 2014)

Blanc	Rouge
Acadie blanc	Baco noir
Chardonnay	Léon Millot
New York Muscat	Lucy Kuhlmann
Ortega	Maréchal Foch
Riesling	
Seyval blanc	
Vidal	

2. Cicadelles

Les cicadelles (Hémiptères: Cicadellidés) forment un groupe d'insectes piqueurs-suceurs riche d'environ 22 000 espèces à l'échelle mondiale. Environ 110 espèces ont été trouvées dans les vignobles canadiens (Bostanian et al. 2003; Saguez et al. 2014).

2.1. Biologie

Les cicadelles sont généralement trouvées sur la face inférieure des feuilles (Fig. 5). Les femelles pondent leurs œufs sous l'épiderme des feuilles, en grappes (Fig. 5a, b) ou individuellement (Fig. 5c, d). Pour un œil entraîné ou à l'examen sous la loupe, la présence des œufs de nombreuses espèces est révélée par un voile blanchâtre translucide qui les recouvre (Fig. 5a, b, d). Chez certaines espèces comme *Erythroneura vitis*, les œufs sont déposés individuellement le long des nervures des feuilles et recouverts d'un opercule protecteur opaque brun foncé (Fig. 5c). Comme les œufs sont transparents, il est souvent possible de discerner les yeux des embryons (Fig. 6), tous alignés dans la même direction. En cas d'infestation grave, les feuilles se décolorent, sauf aux sites de ponte (Fig. 5a, b).

Le développement embryonnaire à l'intérieur de l'œuf dure entre 10 et 15 jours. Après éclosion, la vie nymphale dure en moyenne 21 jours (Wells et Cone 1989; Olsen et al. 1998; Saguez et Vincent 2011). Les adultes vivent habituellement jusqu'à environ un mois.

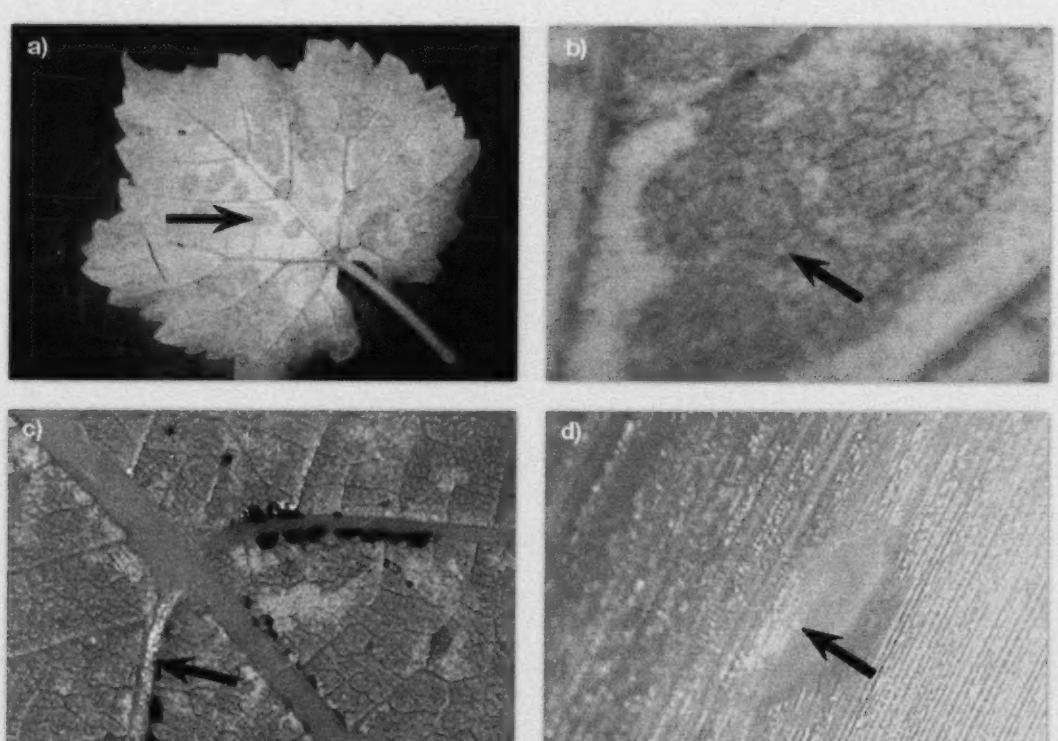

Fig. 5. Différents types d'œufs de cicadelles : a) et b) œufs d'*Erythroneura ziczac* pondus en grappes; c) œufs d'*Erythroneura vitis* déposés individuellement le long des nervures; d) œufs de *Macrosteles quadrilineatus* déposés individuellement sous l'épiderme. Les flèches indiquent l'emplacement des œufs.

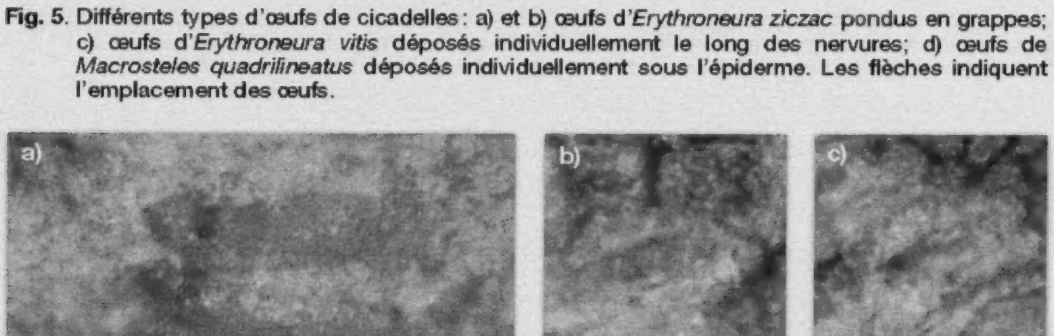

Fig. 6. Étapes de l'éclosion des œufs de cicadelles : a) œufs dans l'épiderme; b) éclosion; c) nymphe néonate.

Les nymphes néonates (Fig. 6c) mesurent moins de 1 mm et sont très vulnérables à la dessiccation et aux ennemis naturels.

La croissance des cicadelles est ponctuée d'une série de mues successives. Les exuvies sont abandonnées sur la plante hôte (Fig. 7). Les nymphes passent par cinq stades (Fig. 8) avant d'atteindre le stade adulte. La taille des bourgeons alaires augmente à chaque mue, tandis que celle des antennes diminue. La dernière mue (imaginale) conduit à l'apparition des adultes ailés (Fig. 9).

Fig. 7. Exuvie de cicadelle.

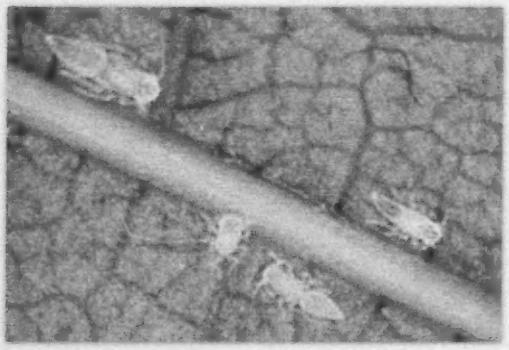

Fig. 8. Nymphes des premier, deuxième et troisième stades d'*Erythroneura vitis*.

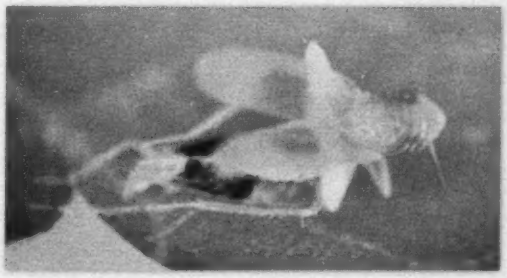

Fig. 9. Mue imaginale.

La coloration des adultes se produit pendant la phase dite ténérale, dans les heures qui suivent la mue imaginale.

Les adultes mesurent en moyenne 3 à 4 mm de longueur. Un examen des différences structurales des genitalia permet d'établir le sexe des individus (Fig. 10). Les femelles sont pourvues d'un ovipositeur (Fig. 10a), tandis que les mâles en sont dépourvus. Les adultes d'une même espèce s'accouplent 7 à 10 jours après leur émergence (Fig. 11). La ponte survient peu de temps après (Fig. 12).

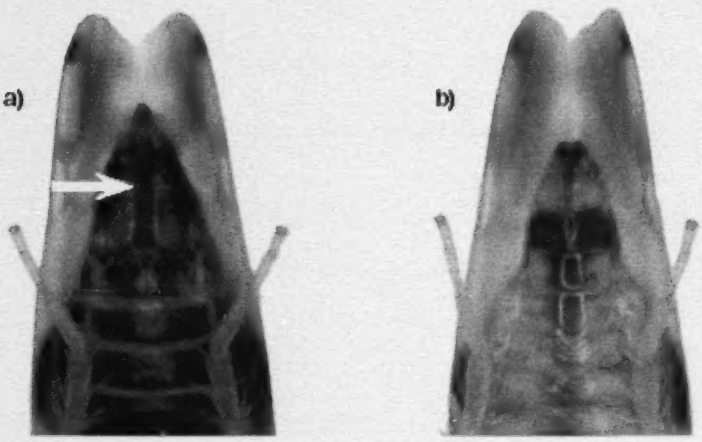

Fig. 10. Genitalia de cicadelles: a) femelle; b) mâle. La flèche blanche montre l'ovipositeur.

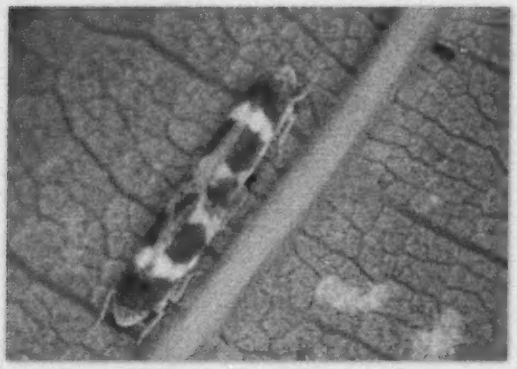

Fig. 11. Accouplement.

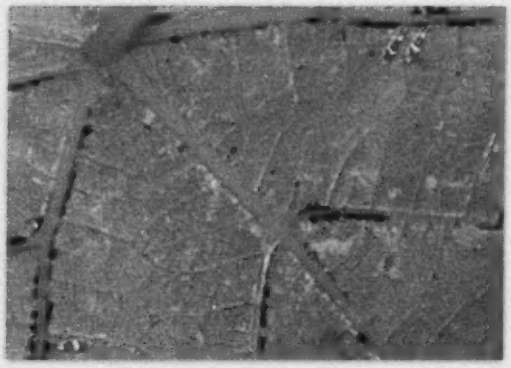

Fig. 12. Cicadelles en train de pondre.

Le développement des cicadelles dépend en grande partie des conditions environnementales. Le nombre de degrés-jours cumulés à partir d'une température seuil peut être utilisé pour estimer la durée du développement d'une population et prédire l'arrivée dans les vignobles des premiers individus. Selon les espèces, les cicadelles peuvent avoir deux à trois générations par année, et elles hibernent sous diverses formes. *Scaphoideus titanus* dépose ses œufs dans l'écorce des pousses et des rameaux de la plante hôte (Vidano 1964; Claridge et Howse 1968). Les espèces du genre *Erythroneura* hibernent au stade adulte sous des feuilles mortes séchées (Wells et Cone 1989; Olsen et al. 1998). Certaines espèces n'hibernent pas au Canada et migrent chaque année. C'est le cas d'*Empoasca fabæ*, qui migre au Canada depuis le nord des États-Unis au printemps.

Dans l'est du Canada, les dates d'arrivée dans les vignobles des diverses espèces de cicadelles peuvent être modélisées et prédites (Hardman 2012). Bostanian et al. (2006) ont utilisé un modèle de degrés-jours cumulés pour prédire l'abondance des cicadelles. Leur modèle s'appliquait à des espèces du genre *Erythroneura* et utilisait une température-seuil de 8 °C (à compter du 1er mars). Selon leur modèle, la surveillance devrait débuter après un cumul de 630 degrés-jours et prendre fin à 1 140 degrés-jours. L'abondance maximale des cicadelles survient entre 850 et 860 degrés-jours.

En France, Bressan et al. (2006) ont développé un modèle fondé sur le cumul de degrés-jours pour améliorer les prises de décision relatives à la lutte contre les cicadelles dans les vignobles infestés. Ce modèle permet de prévoir: 1) les taux d'éclosion des œufs chez le *Scaphoideus titanus*; 2) la proportion des cicadelles infectées par le phytoplasme de la Flavescence Dorée de la vigne (voir la § 4.2. *Principales maladies à phytoplasmes*); 3) la période de latence précédant la transmission du phytoplasme; 4) la proportion de cicadelles susceptibles d'infecter les vignes.

Les modèles de degrés-jours peuvent également être utilisés pour étudier les dynamiques de population des cicadelles (Cerutti et al. 1992) et prédire le risque d'infestation des vignobles par les cicadelles, comme cela a été fait pour le vecteur de la maladie de Pierce (Hoddle 2004).

2.2. Principales espèces de cicadelles associées aux vignobles de l'est du Canada

Environ 110 espèces de cicadelles ont été trouvées dans les vignobles canadiens. Bostanian et al. (2003) ont répertorié une soixantaine d'espèces dans les vignobles du Québec. Saguez et al. (2014) fournissent une liste de 110 espèces et présentent 72 photographies en couleurs d'adultes des principales espèces qui se nourrissent sur les vignes ou sont associées à des mauvaises herbes ou à des graminées dans les vignobles canadiens. Ces photographies peuvent aider les viticulteurs à reconnaître les espèces présentes dans leur vignoble avant qu'ils puissent faire confirmer leur identification par un spécialiste. L'identification à l'espèce des stades immatures est souvent difficile parce que plusieurs espèces, et en particulier les jeunes stades nymphaux, se ressemblent morphologiquement. Dans certains cas, il peut être souhaitable d'élever les nymphes jusqu'au stade adulte en vue de les identifier (voir la § 6.1. *Élevage des cicadelles*).

Tableau 5. Espèces de cicadelles les plus abondantes dans les vignobles de l'est du Canada.

Espèces	Ontario	Québec	Nouveau-Brunswick	Nouvelle-Écosse	Î-P-É
Empoasca fabæ	X	X	X	X	X
Erythroneura bistrata	X				
Erythroneura coloradensis	X				
Erythroneura comes	X	X			
Erythroneura elegantula	X	X			
Erythroneura nigra	X	X			
Erythroneura tricincta	X	X			
Erythroneura vitifex	X	X			
Erythroneura vitis	X	X			
Erythroneura vulnerata	X	X			
Erythroneura ziczac	X	X	X		
Fieberiella florii	X				
Macrosteles fascifrons	X	X	X	X	
Macrosteles quadrilineatus	X	X	X	X	X
Neokolla hieroglyphica	X	X	X	X	X
Norvellina chenopodii	X	X			
Scaphoideus carinatus	X	X	X	X	
Scaphoideus cinerosus	X	X			
Scaphoideus cylindratus	X	X		X	X
Scaphoideus major	X	X			
Scaphoideus melanotus	X	X			
Scaphoideus opalinus	X	X			
Scaphoideus titanus	X	X		X	
Scaphytopius acutus	X	X	X	X	X
Xestocephalus superbus	X	X	X	X	

Au cours d'une année donnée et dans un vignoble donné, la diversité et l'abondance relative des espèces de cicadelles varient en fonction de plusieurs facteurs, dont les cépages cultivés, l'année, les conditions environnementales et les pratiques culturales (voir ci-dessus). Le Tableau 5 énumère les 25 espèces de cicadelles les plus abondantes qui ont été trouvées entre 2006 et 2009 dans les vignobles de l'Ontario et du Québec et potentiellement présentes dans les provinces atlantiques et qui utilisent la vigne comme hôte primaire ou comme hôte alternatif. La plupart de ces espèces sont reconnues comme vectrices de maladies de la vigne. La répartition potentielle des cicadelles dans les régions vinicoles de l'est du Canada repose sur des données tirées de la littérature (Beirne 1956; Maw et al. 2000) et des données non-publiées d'Andy Hamilton.

Les dix fiches d'information présentées ci-après décrivent les espèces de cicadelles les plus importantes dans les vignobles canadiens. Dans la mesure du possible, des photos (Fig. 13 à 22) et des renseignements sur la répartition, les plantes hôtes et les risques d'infestation sont présentées pour chaque espèce.

Empoasca fabæ

Nom commun: Cicadelle de la pomme de terre.

Description: Corps vert pâle, parfois jaunâtre. Cette espèce cause la « brûlure de la cicadelle » chez la vigne et est facilement confondue avec *Empoasca vitis*, espèce de la même couleur présente en Europe.

Longueur des adultes: 3–4 mm.

Habitat et plantes hôtes: *Empoasca fabæ* est hautement polyphage et attaque de nombreuses espèces de plantes. La vigne est un hôte secondaire; l'hôte primaire est la pomme de terre.

Période de détection: Cette cicadelle ne survit pas aux rigueurs des hivers canadiens. Elle migre chaque printemps au Canada depuis le nord des États-Unis. Elle est détectée dans l'est du Canada à partir de la mi-juin et demeure présente durant tout l'été.

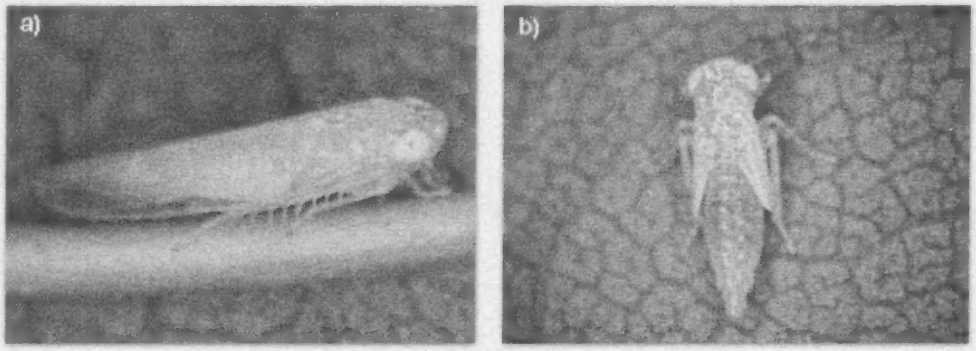

Fig. 13. *Empoasca fabæ*: a) adulte; b) nymphe.

Erythroneura comes

Nom commun: Cicadelle du raisin.

Description: L'adulte est jaunâtre avec des taches oranges ou rouges, comme chez *Erythroneura vitifex*. Les taches les plus grandes et les plus foncées se trouvent à la base des ailes antérieures, et les plus petites sont situées vers l'extrémité des ailes. *E. comes* et *E. vitifex* sont difficiles à différencier, à moins d'examiner les genitalia mâles.

Longueur des adultes: 2,5 à 3,5 mm.

Habitat et plantes hôtes: Principalement la vigne.

Période de détection: Début du printemps à la fin de la saison.

Fig. 14. *Erythroneura comes* adulte (Photo © Yurika Alexander).

Erythroneura elegantula

Nom commun: Aucun nom commun français.

Description: Corps pâle (jaune clair ou blanc), avec des marques orange-jaune et deux taches plus foncées sur le thorax. À l'état nymphal, *Erythroneura elegantula* se confond facilement avec la cicadelle à trois bandes (*Erythroneura tricincta*), mais elle présente seulement deux taches noires sur les bourgeons des ailes postérieures et a les yeux blancs, alors qu'*Erythroneura tricincta* montre des taches sur les bourgeons des ailes antérieures et postérieures et sur le thorax et a les yeux brun rougeâtre. Les deux espèces peuvent également être confondues à l'âge adulte en raison de leurs motifs alaires orange, mais les taches thoraciques foncées d'*Erythroneura elegantula* sont caractéristiques.

Longueur des adultes: 2,5 à 3,5 mm.

Habitat et plantes hôtes: Vignes cultivées et sauvages.

Période de détection: Été et début de l'automne.

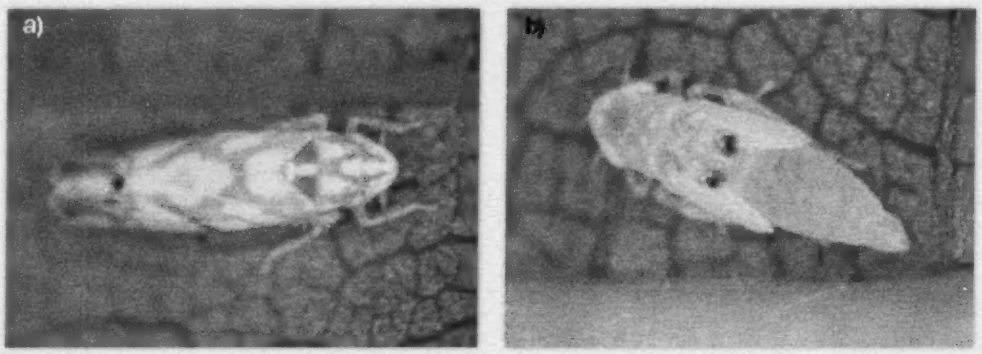

Fig. 15. *Erythroneura elegantula*: a) adulte; b) nymphe.

Erythroneura tricincta

Nom commun: Cicadelle à trois bandes.

Description: Cicadelle jaune avec trois bandes brunes ou noires et les yeux rouges. À l'âge adulte, *Erythroneura tricincta* peut être facilement confondu avec la cicadelle de la vigne (*Erythroneura vitis*), mais s'en distingue par sa coloration plus jaune, ses bandes plus étroites et sa première bande qui n'atteint pas les ailes antérieures. À l'état nymphal, *E. vitis* peut être facilement confondu avec *Erythroneura elegantula*, qui n'a que deux taches noires sur les bourgeons des ailes postérieures, alors que *Erythroneura tricincta* montre des taches sur les bourgeons des ailes antérieures et postérieures et sur le thorax. Les deux espèces se distinguent également par la couleur de leurs yeux, qui sont blancs chez *Erythroneura elegantula* mais brun rougeâtre chez *Erythroneura tricincta*.

Longueur des adultes: 2,5 à 3,5 mm.

Habitat et plantes hôtes: Vignes cultivées et sauvages.

Période de détection: Fin du printemps à la fin de l'été.

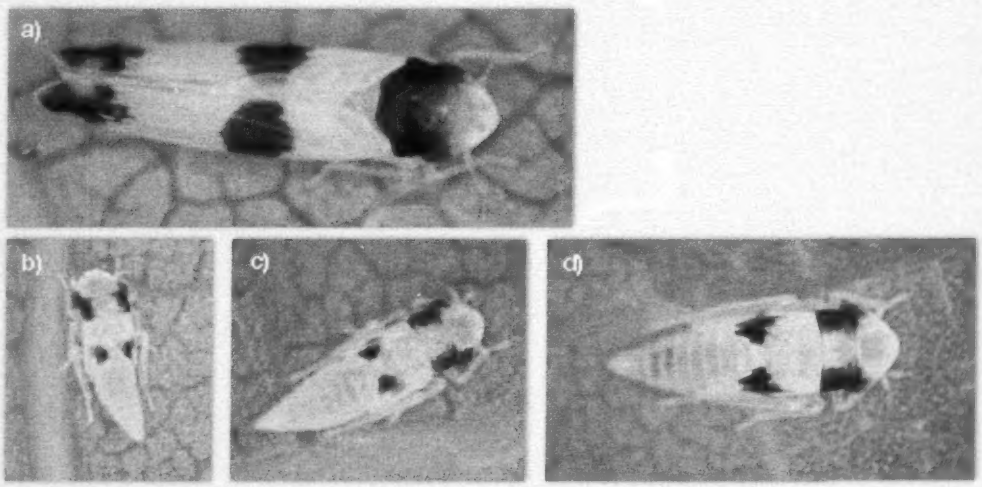

Fig. 16. *Erythroneura tricincta*: a) adulte; b), c) et d) nymphes des deuxième, troisième et cinquième stades, respectivement.

Erythroneura vitifex

Nom commun: Aucun nom commun français.

Description: L'adulte a les ailes antérieures ornées de larges lignes interconnectées orange à rouges, comme chez *Erythroneura elegantula*, mais il n'a pas de taches noires sur le thorax. Cette cicadelle peut être confondue avec *Erythroneura comes*. L'identification à l'espèce de *Erythroneura vitifex* repose sur l'examen des genitalia mâles.

Longueur des adultes: 2,5 à 3,5 mm.

Habitat et plantes hôtes: Essentiellement la vigne.

Période de détection: Début du printemps à la fin de la saison de croissance.

Fig. 17. *Erythroneura vitifex* adulte.

Erythroneura vitis

Nom commun: Cicadelle de la vigne.

Description: L'adulte est jaunâtre avec trois larges bandes perpendiculaires à l'axe principal du corps : une bande sur le thorax, une au milieu de l'abdomen et une bande plus foncée à l'extrémité des ailes. La coloration s'affirme graduellement, déterminant d'abord un « U » orange sur le thorax des jeunes nymphes puis un carré brun chez les nymphes du dernier stade. Le nom de l'espèce est facilement confondu avec le nom d'une espèce européenne, *Empoasca vitis*, car les deux espèces sont souvent désignées sous leur nom abrégé (*E. vitis*) dans la littérature. À l'âge adulte, *Erythroneura vitis* est facilement confondu avec *Erythroneura tricincta*, mais il s'en distingue par ses bandes plus larges et par sa première bande qui s'étend jusqu'aux ailes antérieures.

Longueur des adultes: 2,5 à 3,5 mm.

Habitat et plantes hôtes: Vignes cultivées et sauvages.

Période de détection: Juin à la fin de septembre.

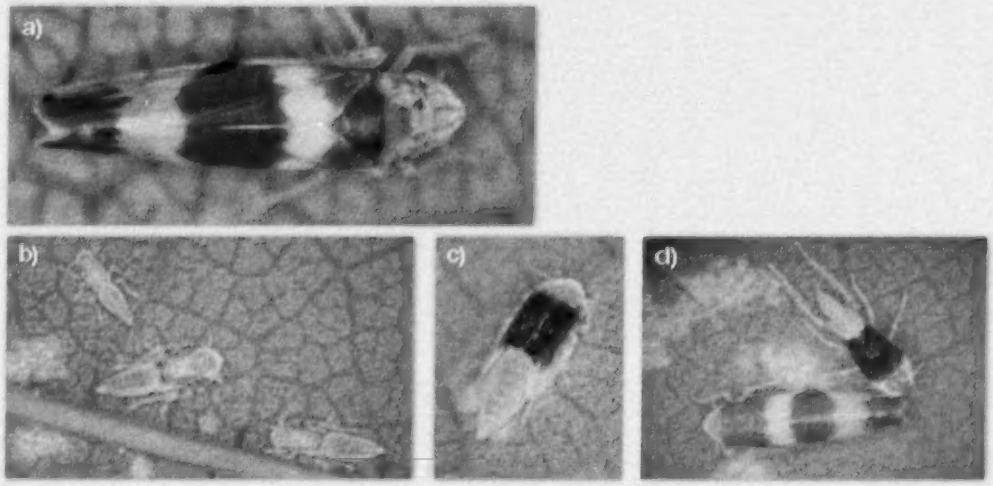

Fig. 18. *Erythroneura vitis*: a) adulte; b) nymphes des deuxième et troisième stades; c) nymphe de cinquième stade; d) jeune adulte à côté de son exuvie.

Erythroneura vulnerata

Nom commun: Aucun nom commun français.

Description: Les nymphes sont entièrement brunes à l'exception des pattes, qui sont jaunes. L'adulte est habituellement brunâtre ou de la couleur du sang séché, avec trois lignes blanches sur la tête.

Longueur des adultes: 2,5 à 3,5 mm.

Habitat et plantes hôtes: Vignes cultivées, sauvages et vigne vierge.

Période de détection: Début de juillet à la fin d'août.

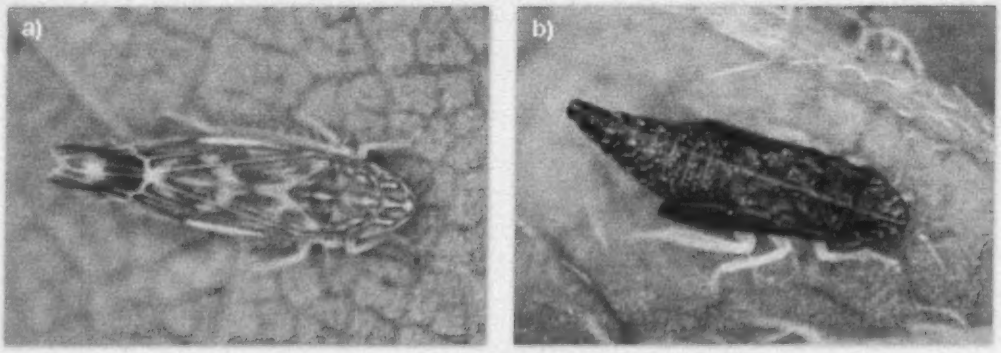

Fig. 19. *Erythroneura vulnerata*: a) adulte; b) nymphe.

Erythroneura ziczac

Nom commun: Cicadelle de la vigne vierge.

Description: Les nymphes sont ivoires avec des taches rouges sur le prothorax et des taches brunes entre les bourgeons alaires. Les adultes sont jaunâtres avec des motifs en zigzag bruns sur le dos.

Longueur des adultes: 2,5 à 3,5 mm.

Habitat et plantes hôtes: Vignes cultivées, sauvages et vigne vierge.

Période de détection: Été.

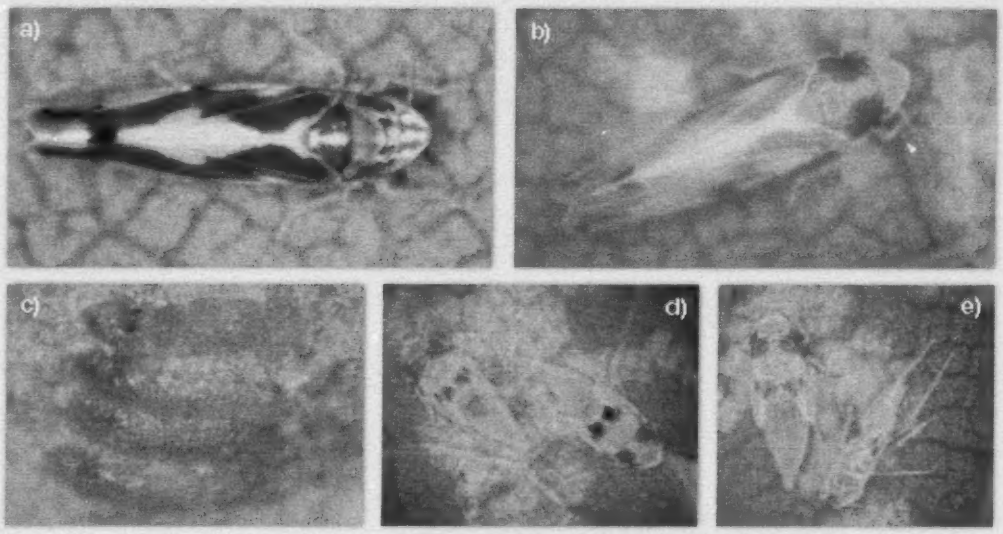

Fig. 20. *Erythroneura ziczac*: a) adulte; b) jeune adulte sans sa coloration définitive; c) œufs; d) nymphes de troisième stade présentant des motifs de coloration différents; e) nymphe de quatrième stade et son exuvie.

Macrosteles fascifrons / Macrosteles quadrilineatus

Nom commun: Cicadelle de l'aster.

Description: *Macrosteles quadrilineatus*, vecteur du phytoplasme de la jaunisse de l'aster, a les ailes plus longues (plus de quatre fois plus longues que larges) que *Macrosteles fascifrons*. Les nymphes sont jaunes, et les adultes paraissent vert foncé avec les ailes transparentes et l'abdomen noir.

Longueur des adultes: 3,5 à 4,5 mm.

Habitat et plantes hôtes: Ces deux espèces hautement polyphages infestent de nombreux hôtes qui diffèrent selon l'espèce. L'hôte de prédilection de *Macrosteles fascifrons* est le jonc des crapauds (*Juncus bufonius*), tandis que celui du *Macrosteles quadrilineatus* est l'aster. Ces deux espèces de cicadelles sont communément rencontrées dans les vignobles, en particulier dans les bandes enherbées et sur les bords des vignobles.

Période de détection: Fin d'août au milieu d'octobre.

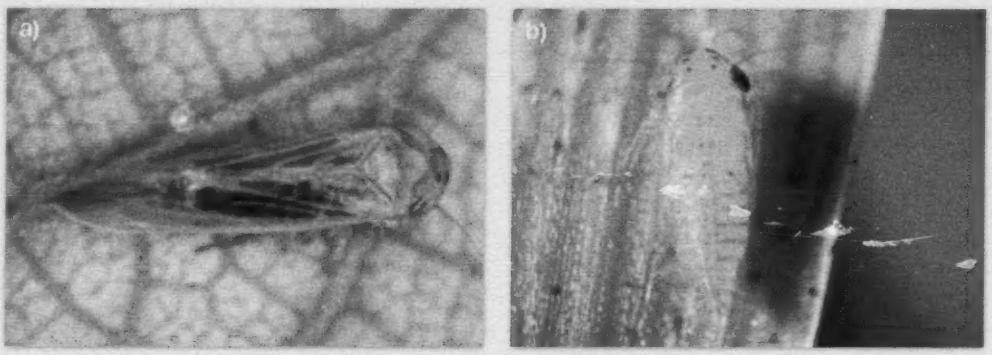

Fig. 21. *Macrosteles quadrilineatus*: a) adulte; b) nymphe.

Scaphoideus titanus (anciennement *Scaphoideus amplus*)

Nom commun: Aucun nom commun français.

Description: La nymphe saute. Les adultes sont havanes avec des marques brunes et ont les ailes brunâtres avec des taches foncées. Comme chez d'autres espèces de ce genre, ils montrent également des cellules tordues dans la partie apicale des ailes. Originaire d'Amérique du Nord, *Scaphoideus titanus* est le vecteur de la Flavescence Dorée en Europe. Bien qu'elle soit présente dans les vignobles canadiens, cette cicadelle n'a pas encore été trouvée porteuse des phytoplasmes de la Flavescence Dorée. Sa présence impose toutefois d'augmenter les activités de surveillance.

Longueur des adultes: 4,5 à 5,5 mm.

Habitat et plantes hôtes: Vignes cultivées et sauvages.

Période de détection: Été.

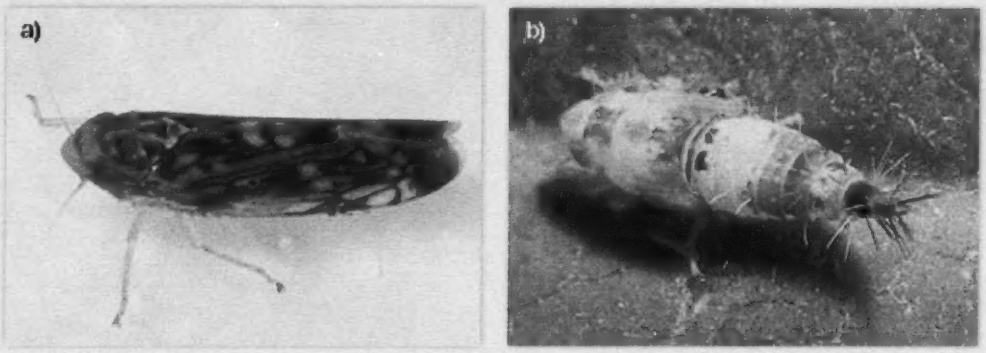

Fig. 22. *Scaphoideus titanus*: a) adulte (Photo © Ilona Loser); b) nymphe (Photo © Kenneth E. Barnett).

3. Dommages infligés par les cicadelles

Les cicadelles sont des insectes suceurs-piqueurs. À l'aide de leurs pièces buccales modifiées en stylets (Fig. 23), elles percent les feuilles et sucent la sève du xylème ou du phloème des plantes qu'elles infestent. Elles peuvent également vider le contenu des cellules du mésophylle.

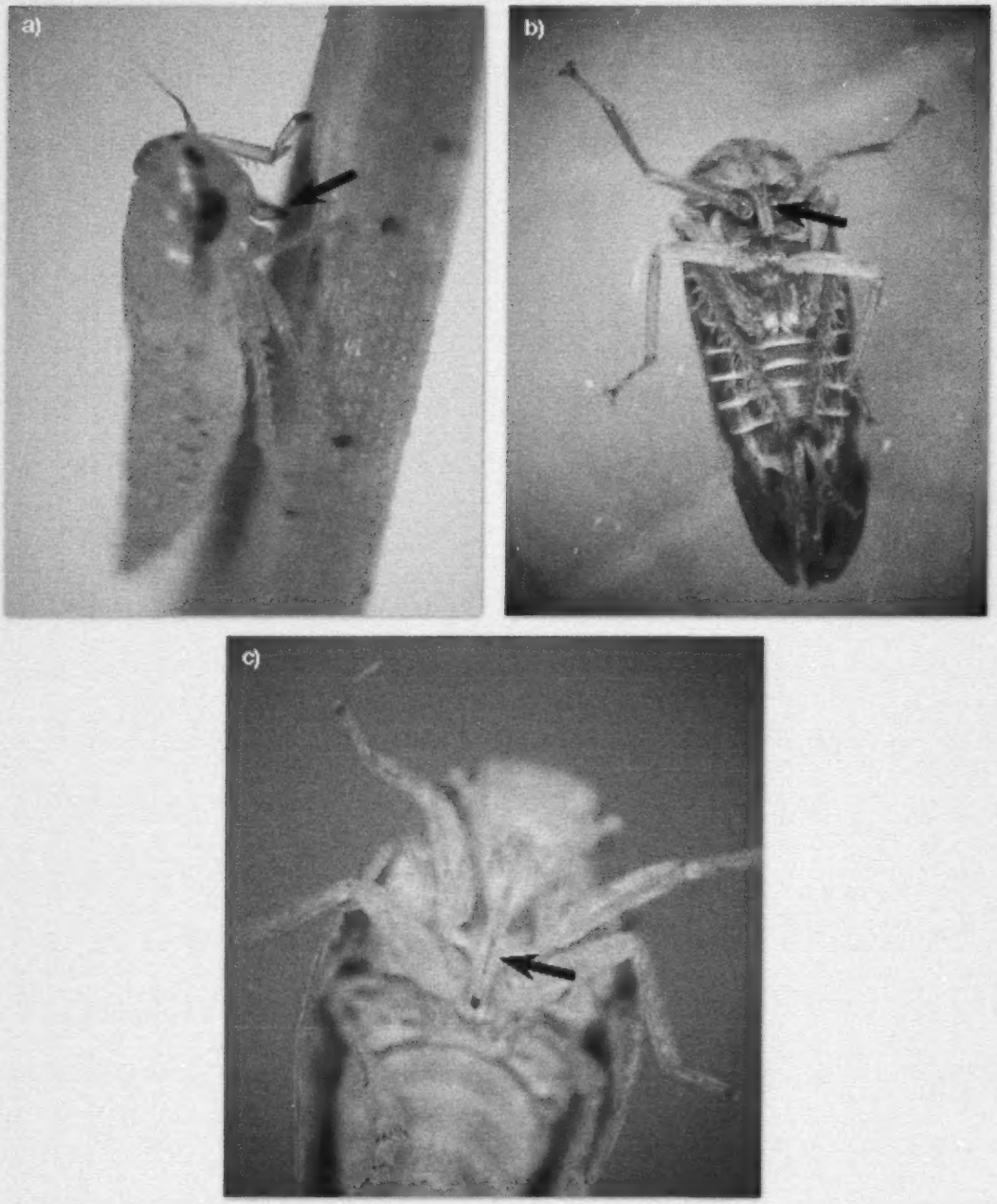

Fig. 23. Pièces buccales de type piqueur-suceur de trois espèces de cicadelles. Les stylets sont indiqués par des flèches noires.

3.1. Dommages directs

Certaines espèces se nourrissent exclusivement de la sève du xylème (sève brute), d'autres uniquement de la sève du phloème (sève élaborée), et d'autres espèces du mésophylle. Un certain nombre d'espèces utilisent différentes stratégies pour trouver les ressources nutritives et les éléments nutritifs essentiels à leur développement.

Piqûres

En s'alimentant, de nombreuses espèces de cicadelles provoquent l'apparition de pointillés blancs sur les feuilles (Fig. 24). Ces pointillés résultent de la dépigmentation des feuilles, causée par l'ingestion des chloroplastes et de la chlorophylle des cellules des feuilles. C'est ce type de dommage qui est occasionné par les espèces du genre *Erythroneura* (Saguez et al. 2015).

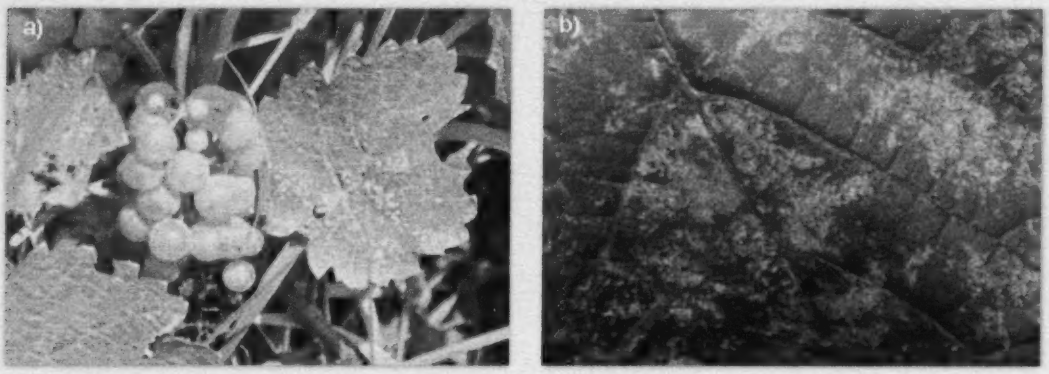

Fig. 24. Dommages causés au feuillage de deux cépages: a) Vidal; b) Seyval blanc.

Brûlure de la cicadelle

Les dommages peuvent également être causés par la réaction de la plante à l'alimentation des cicadelles. Les feuilles attaquées prennent l'aspect boursouflé, caractéristique de la brûlure de la cicadelle causée par *Empoasca fabæ* (Fig. 25). Ces boursouflures sont occasionnées par l'hypertrophie de certaines cellules.

Fig. 25. Symptômes de brûlure de la cicadelle *Empoasca fabæ* sur feuille de vigne.

Les piqures sont généralement observées dans les parties basses des vignes et près des raisins, tandis que la brûlure de la vigne touche généralement les parties supérieures de la canopée des vignes, les cicadelles possédant différents sites et comportements de prise alimentaire.

3.2. Dommages indirects : transmission de maladies

Pendant qu'elles s'alimentent, les cicadelles peuvent acquérir et transmettre des virus, des bactéries et des phytoplasmes présents dans les tissus vasculaires de la plante. L'acquisition survient généralement durant l'ingestion de la sève (Fig. 26a). Certains pathogènes, comme la bactérie responsable de la maladie de Pierce, ne circulent pas dans le corps des cicadelles mais se fixent plutôt à leurs pièces buccales. Les virus et les phytoplasmes circulent dans le corps des cicadelles. Ils pénètrent dans le tube digestif, traversent la barrière intestinale, atteignent l'hémolymphe et migrent vers les glandes salivaires (Fig. 26b). Certains virus ne se répliquent pas dans les organes des cicadelles, mais d'autres virus et les phytoplasmes s'y multiplient activement. Lors d'un repas subséquent, les cicadelles transmettent les pathogènes à la plante en injectant de la salive contaminée (Fig. 26c).

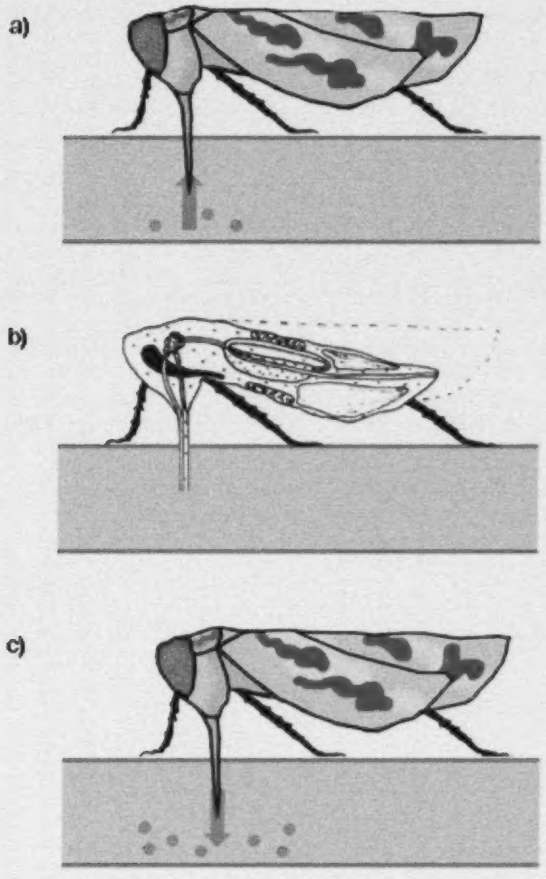

Fig. 26. Cycle des phytoplasmes (points rouges): a) acquisition; b) dispersion dans le corps de la cicadelle; c) transmission. Les flèches indiquent le sens du flux des phytoplasmes entre la cicadelle et les tissus de la plante.

La transmission de phytoplasmes se fait principalement par l'intermédiaire des insectes vecteurs et notamment les cicadelles. Toutefois, elle peut aussi avoir lieu lors du processus de greffage, car le porte-greffe ou le greffon peuvent être contaminés. L'utilisation de matériel de multiplication contaminé a entraîné la dissémination sur de longues distances de plusieurs maladies à phytoplasmes graves comme la Flavescence Dorée et le Bois Noir, tant en Europe qu'au Canada (Rott et al. 2007; Constable 2010). Une attention toute particulière doit donc être accordée à l'utilisation de matériel de multiplication sain dans le cadre des programmes de prévention (voir § 4.2. *Principales maladies à phytoplasmes* et § 5.3. *Prévention*).

Un troisième mécanisme de transmission des phytoplasmes implique certaines plantes parasites (Contaldo et al. 2012).

4. Maladies à phytoplasmes de la vigne

4.1. Que sont les phytoplasmes?

Les phytoplasmes (Fig. 27) sont des bactéries procaryotes de la classe des Mollicutes, caractérisées par leur absence de paroi cellulaire, leur pléiomorphisme (qui prennent des formes variées en fonction des conditions environnementales), leur petite taille (diamètre généralement < 1µm) et leur petit génome (680-1600 kb) (Bertaccini et Duduk 2009). Ce sont des parasites obligatoires qui ont besoin d'hôtes pour se multiplier, notamment des insectes vecteurs (par exemple les cicadelles, mais aussi les psylles) et des plantes. Les phytoplasmes sont très difficilement cultivables *in vitro*, thermosensibles, et sensibles à certains antibiotiques, notamment du groupe des tétracyclines. Les phytoplasmes vivent et se déplacent principalement dans les tissus phloémiques et sont transmis principalement par des insectes qui se nourrissent de phloème. Les phytoplasmes ne peuvent pas être transmis par le vent, l'eau ou le sol. Ces pathogènes passent l'hiver dans le corps des insectes vecteurs, dans les racines et les parties ligneuses dormantes de nombreuses vivaces et dans les bourgeons de certains arbres (Bertaccini et Duduk 2009). Les phytoplasmes manipulent le génome de leurs hôtes animaux et végétaux, provoquant chez eux des changements physiologiques et comportementaux tels que la conversion de bourgeons floraux en bourgeons foliaires chez les plantes (Hogenhout et al. 2008).

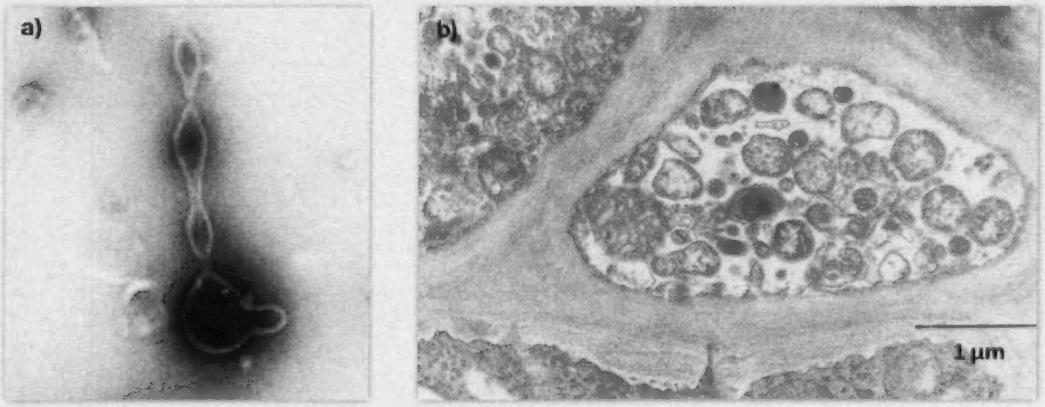

Fig. 27. Phytoplasmes observés par microscopie électronique : a) phytoplasme isolé (Photo Caudwell *et al.*, 1982); b) phytoplasmes dans des vaisseaux du phloème (Photo © INRA Dijon).

Au Canada, à l'exception du traitement à l'eau chaude dont doivent faire l'objet les végétaux importés (voir § 5.3. *Prévention*), il n'existe aucune méthode de lutte directe contre les phytoplasmes, et aucun produit n'est homologué ou commercialisé contre ces agents phytopathogènes. La lutte contre les maladies à phytoplasmes repose principalement sur l'application d'insecticides chimiques contre les vecteurs (voir § 5.2. *Surveillance et contrôle des cicadelles*). Les programmes de prévention, incluant la surveillance des cultures, la destruction des plantes infectées et des réservoirs et la certification des végétaux importés, sont également très importants (Weintraub et Wilson 2010; Olivier et al. 2012). Plusieurs souches de phytoplasmes ont été répertoriées chez différentes espèces (Olivier et al. 2009a) et de nouvelles souches ont récemment été identifiées dans des vignobles canadiens (Olivier et al. 2014).

Les phytoplasmes causent des maladies appelées jaunisses chez un très grand nombre d'espèces végétales, dont la vigne cultivée. De nombreuses jaunisses différentes affectent la vigne et sont présentes dans la plupart des régions viticoles du monde. Les jaunisses de la vigne sont causées par une douzaine de phytoplasmes différents (Constable 2010). La Flavescence Dorée et le Bois Noir sont deux importantes maladies épidémiques d'incidence économique causées par des phytoplasmes en Europe. Ces deux jaunisses sont des maladies de quarantaine au Canada.

Les phytoplasmes des jaunisses de l'aster et de la maladie X ont été détectés chez la vigne au Canada. Aucun nom spécifique n'a été donné à ces deux maladies de la vigne au Canada. Aux États-Unis, les vignes infectées par l'un ou l'autre de ces phytoplasmes ou par les deux sont dites infectées par la jaunisse nord-américaine de la vigne (NAGY, pour *North American grapevine yellows*) (Wolf et al. 1994; Olivier et al. 2012).

Dans les vignobles, les symptômes de jaunisse sont identiques quelque soit la souche de phytoplasme. Les symptômes touchent le feuillage, les fleurs, les raisins et les rameaux (Fig. 28 et 29) et incluent le jaunissement (cépages blancs) ou le rougissement (cépages rouges) du limbe des feuilles (Fig. 28 et 29, respectivement), l'enroulement des feuilles, le non-aoûtement des sarments, le dessèchement des inflorescences, des pertes de rendement, le rabougrissement de la plante et, dans de nombreux cas, la mort des vignes infectées.

Fig. 28. Symptômes de jaunisse sur cépages blancs: a) à d) symptômes sur feuilles; e) aspect général; f) symptômes sur raisins (à gauche: grappe saine; à droite: grappe infectée).

Fig. 29. a) à e) Symptômes de jaunisse sur feuilles de cépages rouges.

4.2. Principales maladies à phytoplasmes

Flavescence forée

Détectée pour la première fois en Europe dans les années 1950, la Flavescence Dorée (FD) est maintenant épidémique dans la plupart des vignobles européens. Elle est transmise par *Scaphoideus titanus*, cicadelle originaire d'Amérique du Nord (Constable 2010). En Europe, la Flavescence Dorée est réglementée depuis la fin des années 1980 à titre de maladie de quarantaine. En raison de l'ampleur des pertes économiques dues à cette maladie pour la viticulture européenne, la lutte est collective et obligatoire et basée sur des arrêtés ministériels (Rouzet et al. 1989). La Flavescence Dorée est également une maladie à déclaration obligatoire, et tous les cas confirmés ou soupçonnés doivent être signalés aux autorités gouvernementales compétentes. Bien que la cicadelle vectrice (*Scaphoideus titanus*) soit présente au Canada, le phytoplasme de la Flavescence Dorée n'a pas été isolé à ce jour chez la cicadelle ou dans les vignobles canadiens.

Les viticulteurs canadiens sont toutefois invités à faire preuve de prudence et à intensifier leur surveillance à l'égard de cette maladie. L'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) a mis en place des exigences strictes régissant l'importation de matériel de multiplication et la déclaration des parcelles contaminées (voir § 5.3. *Prévention*). Les phytoplasmes de la Flavescence Dorée pourraient être introduit au Canada via du matériel de multiplication, contaminé par ce pathogène. Le matériel de multiplication importé est également susceptible de contenir des œufs du *Scaphoideus titanus*, qui sont déposés sous l'écorce. Des expériences menées en laboratoire ont révélé que les phytoplasmes des jaunisses de l'aster peuvent être transmis par les œufs de *Scaphoideus titanus* (Alma et al. 1997), mais ce mode de transmission n'a pas été observé dans le cas de la Flavescence Dorée.

Bois Noir

Le Bois Noir (BN) est largement répandu en Europe, particulièrement dans la région méditerranéenne. Il constitue la deuxième plus importante maladie à phytoplasmes après la Flavescence Dorée. Dans certaines régions, le Bois Noir cause des pertes importantes dans les vignobles (Constable 2010). Cette maladie est transmise par *Hyalesthes obsoletus*, un Cixiidé qui n'est pas présent au Canada.

En 2006, l'ACIA a découvert en Colombie-Britannique et en Ontario un certain nombre de vignes importées d'Europe infectées par le Bois Noir (Rott et al. 2007). Les vignes infectées et les parcelles contenant ce matériel ont toutes été détruites. Des analyses menées ultérieurement ont confirmé l'éradication de la maladie dans ces parcelles.

Au Canada, la présence de mauvaises herbes reconnues comme des réservoirs importants de la maladie et l'identification de nouveaux vecteurs potentiels constituent des sources de préoccupations. Le Bois Noir présent chez plusieurs espèces de mauvaises herbes en Europe et peut être transmis de ces plantes hôtes à la vigne, l'hôte définitif (mais les phytoplasmes ne peuvent être transmis de la vigne à d'autres plantes).

Jaunisses de l'aster

Au Canada, les phytoplasmes des jaunisses de l'aster (AY) sont les plus largement répandus. Ils peuvent infecter plus de 250 espèces végétales, et une vingtaine d'espèces de cicadelles sont des vecteurs reconnus. Ces maladies à phytoplasmes sévissent actuellement dans des vignobles de la Colombie-Britannique, de l'Ontario et du Québec (Olivier et al. 2009b). Le taux de prévalence est très faible en Colombie-Britannique (< 1 % des vignes sont symptomatiques), mais il est plus

élevé au Québec et en Ontario (environ 5 % des vignes sont symptomatiques). Toutefois, une des caractéristiques de ce type de maladie à phytoplasmes est la présence d'une forte proportion de vignes infectées asymptomatiques. Bien que la cicadelle de l'aster (*Macrosteles quadrilineatus*) soit le principal vecteur des jaunisses de l'aster, plusieurs autres espèces de cicadelles sont considérées comme des vecteurs potentiels dans les vignobles (Olivier et al. 2014).

Maladie X

La maladie X est commune au Canada et affecte de nombreuses espèces d'arbres fruitiers, dont le cerisier et le pêcher. La maladie suit un cycle épidémique de 10 à 15 ans (période de forte incidence de 4 à 6 ans suivie d'une période de rémission de 5 à 9 ans). La maladie X est transmise par au moins huit espèces de cicadelles (Davis et al. 2013), mais elle n'a été détectée que chez quelques vignes au Canada. La présence autour des vignobles de cerisiers de Virginie (*Prunus virginiana*) pourrait être une des raisons de la transmission de cette maladie à la vigne, puisque le cerisier de Virginie peut être un important réservoir de phytoplasmes de la maladie X et de leurs vecteurs (Rosenberger et Jones 1978).

Maladie de Pierce

La maladie de Pierce n'est pas une maladie à phytoplasmes. Elle est causée par la protéobactérie *Xylella fastidiosa*, qui attaque le xylème de la plante. Elle est transmise par des insectes se nourrissant du xylème, dont certaines espèces de cicadelles et de cercopes (Mizell et al. 2012). La bactérie se fixe aux parois de la pompe cibariale (organe situé entre l'œsophage et les pièces buccales) de l'insecte lorsque celui-ci commence à se nourrir et peut être réinjectée dans le xylème au cours d'un repas subséquent. La maladie peut ainsi être propagée rapidement. La maladie de Pierce touche 100 espèces de plantes, dont la vigne et certains arbres fruitiers. Le pathogène responsable de la maladie est largement répandu aux États-Unis mais est incapable de survivre sous un climat froid. La maladie a été détectée dans le sud de l'Ontario et de l'Alberta (chez l'érable, l'orme, le platane occidental et d'autres essences), mais on sait très peu de chose sur l'identité de ses vecteurs au Canada (Chatterjee et al. 2008).

4.3. Détection et identification des maladies à phytoplasmes

Le diagnostic des maladies à phytoplasmes est difficile car les plantes infectées peuvent être asymptomatiques. Les phytoplasmes peuvent être confinés à certaines portions ou à certains tissus de la plante et ne pas être présents ailleurs. À l'échelle d'une tige, les phytoplasmes peuvent n'être présents que dans certaines sections. Il faut donc recourir à des techniques moléculaires pour détecter les maladies à phytoplasmes et confirmer l'infection.

Toutes les maladies à phytoplasmes provoquent des symptômes semblables. Anciennement, la détection des maladies à phytoplasmes reposait sur l'utilisation de colorants non spécifiques comme le bleu d'aniline, qui se lie aux dépôts de callose (polysaccharide qui obture les tubes criblés assurant le transport de la sève) formés en cas d'infection par des phytoplasmes. Certains marqueurs fluorescents tells que le DAPI (4',6'-diamidino-2-phénylindole) permettent de localiser facilement l'ADN des phytoplasmes dans les tubes criblés des plantes, qui ne contiennent normalement pas d'ADN. Ces méthodes relativement non spécifiques ne permettent cependant pas de détecter les phytoplasmes lorsque ceux-ci sont présents en petite quantité, ni d'identifier les diverses souches de phytoplasmes ou de faire une distinction entre des phytoplasmes et un certain nombre d'autres pathogènes.

Diverses techniques sont aujourd'hui disponibles pour détecter, identifier et caractériser les phytoplasmes dans des échantillons de feuilles ou d'insectes (Dickinson et Hodgetts 2013). Ces techniques incluent la méthode immuno-enzymatique ELISA (littéralement « dosage d'immunoadsorption par enzyme liée ») et la PCR-RFLP (réaction en chaîne par polymérase combinée à l'analyse du polymorphisme de longueur des fragments de restriction).

La méthode ELISA utilise des anticorps pour détecter des protéines membranaires spécifiques sur les phytoplasmes (Batlle et al. 1997). La présence de phytoplasmes dans un échantillon testé par ELISA déclenche une réaction colorimétrique. L'ELISA peut renseigner rapidement sur la présence de phytoplasmes dans un échantillon, mais l'information est généralement qualitative (de type présence/absence) et ne permet pas toujours d'identifier la souche. La détection est également difficile lorsque les échantillons ne contiennent qu'une faible concentration de phytoplasmes (ce qui est généralement le cas chez la vigne) ou lorsque l'accès des anticorps aux protéines membranaires est restreint (Fig. 30). Si la concentration de phytoplasmes dans un échantillon est trop faible, le test peut donner un résultat négatif même si des phytoplasmes sont présents. Cette méthode a toutefois été utilisée avec beaucoup de succès en association avec la microscopie optique et électronique à des fins de détection des phytoplasmes dans des tissus de végétaux et d'insectes (Lherminier et al. 1990).

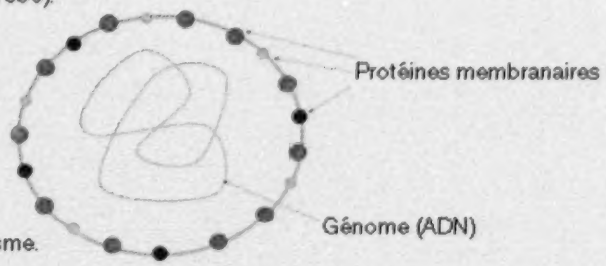

Fig. 30. Dessin schématique d'un phytoplasme.

Les autres méthodes utilisées pour détecter et caractériser les phytoplasmes dans des échantillons sont des techniques moléculaires, telles la PCR et l'analyse RFLP. Ces techniques permettent l'amplification, la détection et le séquençage du génome (Fig. 30) des souches de phytoplasmes présentes dans les extraits d'ADN d'échantillons d'insectes et de vigne.

La PCR est fondée sur une série de réactions chimiques successives effectuées à des températures différentes qui permettent d'amplifier des fragments d'ADN bien précis du génome des phytoplasmes à l'aide d'amorces spécifiques se fixant sur ces fragments. Après amplification, les fragments d'ADN sont séparés sur gel d'agarose. La présence de phytoplasmes dans l'échantillon est révélée par l'apparition de bandes spécifiques sur le gel (Fig. 31). Plusieurs variantes de PCR sont disponibles. En moyenne, les essais par PCR nécessitent deux à trois jours de travail.

Une fois les analyses par PCR réalisées, il faut cloner et séquencer les fragments d'ADN amplifiés pour identifier ou confirmer la souche de phytoplasme présente dans l'échantillon. En comparant les séquences ainsi obtenues aux séquences connues de phytoplasmes versées dans les banques de gènes, on peut ensuite effectuer des analyses phylogénétiques pour déterminer le degré de parenté entre les souches (Olivier et al. 2014). On peut alors comparer les phytoplasmes isolés chez des insectes à ceux trouvés chez des plantes afin de déterminer s'ils appartiennent aux mêmes souches.

Les séquences sont également virtuellement découpées en fragments à l'aide de divers enzymes (RFLP) et visualisées sur gel virtuel. Le profil des séquences d'ADN découpées obtenues sur le gel sont spécifiques à l'espèce de phytoplasme présente dans l'échantillon. Les analyses phylogénétiques et les RFLP permettent d'identifier l'espèce de phytoplasme présente, mais ces techniques peuvent nécessiter jusqu'à une semaine de travail. Toutes ces techniques peuvent être utilisées pour identifier de nouvelles souches de phytoplasmes dans les vignobles canadiens (Olivier et al. 2014).

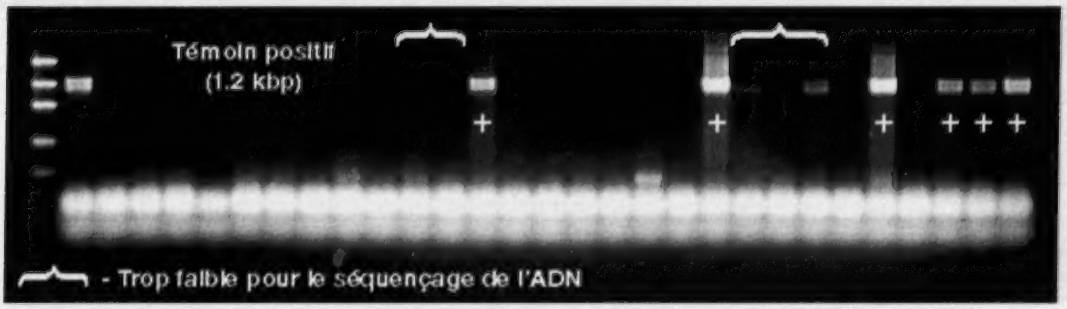

Fig. 31. Détection de l'ADN des phytoplasmes sur gel d'agarose.

Les techniques de détection des phytoplasmes sont en constante amélioration et de nouvelles techniques plus rapides et plus précises sont développées et publiées régulièrement. Il est probable que de nouveaux tests plus performants soient disponibles d'ici quelques années (Dickinson et Hodgetts 2013).

4.4. Autres causes de jaunissement

Les symptômes des jaunisses peuvent être confondus avec plusieurs autres problèmes décrits ci-après.

Carence en éléments minéraux ou toxicité

Diverses carences en éléments minéraux et divers effets toxiques peuvent provoquer le jaunissement du feuillage chez la vigne. Une carence en fer peut causer le jaunissement et le flétrissement des feuilles. Le jaunissement peut toucher les jeunes feuilles, en particulier entre les nervures, avant leur dessèchement. Une carence en bore entraîne la croissance d'une masse dense de pousses à partir d'un même point (balai de sorcière) et l'apparition de zones décolorées sur le bord du limbe des feuilles. Une carence en manganèse cause le jaunissement ou le rougissement du limbe, qui prend une apparence marbrée. Un apport insuffisant en potassium ou en magnésium peut également provoquer un changement de coloration du feuillage. À l'inverse, un apport excessif en bore ou en manganèse peut être toxique pour la vigne et provoquer l'enroulement, avec un risque de nécrose et de chute prématurée des feuilles.

Problèmes de phytotoxicité dus à des traitements herbicides

L'exposition des vignes à des herbicides peut entraîner l'apparition d'une chlorose (décoloration du feuillage) semblable à celle causée par des phytoplasmes. Toutefois, lorsqu'un herbicide est en cause, la chlorose n'est pas limitée à un ou à quelques plants et touche généralement de nombreux plants d'un même rang ou de plusieurs rangs.

Blessures mécaniques

La taille des vignes peut provoquer des blessures et le rougissement du feuillage. Dans certains cas, il est important de déterminer si les feuilles présentent des lésions. Lorsqu'il s'agit de blessures mécaniques, les symptômes touchent de nombreux plants de mêmes rangs et ailleurs dans le vignoble. S'il s'agit d'une maladie à phytoplasmes, les symptômes se manifesteront de façon sporadique à l'échelle d'une parcelle.

Attaques par d'autres ravageurs (acariens phytophages, thrips)

Divers acariens phytophages comme le tétranyque à deux points (*Tetranychus urticae*) (Fig. 32) et le tétranyque rouge du pommier (*Panonychus ulmi*) se nourrissent sur la vigne en perforant les tissus de la plante pour en aspirer le contenu. La salive des acariens contient des toxines qui provoquent l'enroulement et un changement de coloration du feuillage (Fig. 33). En cas d'infestation, le feuillage est couvert de fils de soie. Les thrips peuvent également provoquer des effets phytotoxiques chez la vigne, mais ils ne produisent pas de fils de soie. Il peut être nécessaire d'utiliser une loupe pour identifier ces espèces.

Fig. 32. Tétranyque à deux points (*Tetranychus urticae*) (Photo Jacques Lasnier)

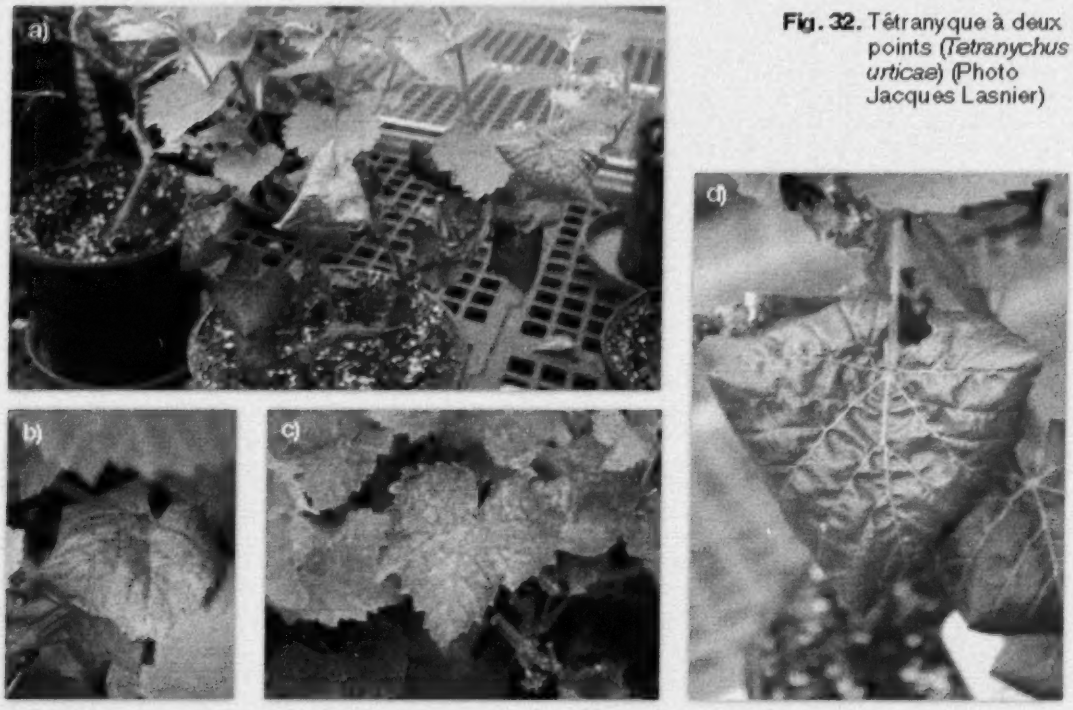

Fig. 33. Dommages infligés à des vignes par des acariens phytophages: a) aspect général d'une vigne infectée par des acariens; b) et c) jaunissement du feuillage; d) feuille enroulée.

Autres maladies

D'autres maladies, causées par des virus, bactéries ou champignons phytopathogènes peuvent altérer la physiologie de la plante et provoquer la décoloration et/ou le jaunissement du feuillage. Quels que soient les symptômes observés, la présence d'une infection par des phytoplasmes peut être confirmée ou infirmée seulement à l'aide d'une analyse bio-moléculaire.

5. Protection des vignobles contre les cicadelles et les phytoplasmes

Les difficultés liées à l'identification des espèces de cicadelles (en particulier à l'état nymphal), au diagnostic des maladies et à la détection des phytoplasmes compliquent l'application de mesures phytosanitaires contre les maladies à phytoplasmes dans les vignobles. Toutefois, diverses stratégies de prévention et de lutte peuvent être mises en place pour prévenir la propagation des phytoplasmes. L'efficacité des mesures préventives dirigées contre les phytoplasmes dépend de la bonne gestion du vignoble et des soins prodigués aux vignes. Il est également important d'intensifier la surveillance des populations de cicadelles dans les vignobles, en particulier des espèces qui sont reconnues comme vectrices ou potentiellement vectrices de phytoplasmes. Enfin, il importe également de se conformer aux directives phytosanitaires afin de prévenir l'introduction de plantes contaminées et, le cas échéant, d'éliminer tout matériel contaminé aussi rapidement que possible.

5.1. Lutte intégrée contre les mauvaises herbes et entretien des vignobles et secteurs adjacents

Pratiques culturales

Les pratiques culturales peuvent avoir un impact majeur sur la présence de cicadelles dans les vignobles. Les cicadelles peuvent coloniser différentes parties du couvert végétal des vignes, et la présence de certaines espèces peut dépendre de la densité du feuillage. Par exemple, la cicadelle de la pomme de terre (*Empoasca fabæ*) préfère se nourrir sur les jeunes pousses, tandis que les espèces du genre *Erythroneura* attaquent principalement les feuilles situées près du sol et des grappes de raisin. La vigne ayant une croissance continue, la taille mécanique (Fig. 34) permet de maintenir chaque cultivar à la hauteur souhaitée. Cette taille a pour but d'éliminer les jeunes pousses et les sarments qui constituent les cibles de prédilection de certaines espèces de cicadelles telles que *Empoasca fabæ*.

L'effeuillage à proximité des grappes au moment de la maturation des fruits contribue à réduire les populations de cicadelles qui se développent principalement sur les feuilles inférieures et à limiter le risque de transmission de phytoplasmes.

Fig. 34. Taille mécanique visant à uniformiser la hauteur et la largeur des vignes.

Les tailles automnales et printanières semblent également jouer un rôle dans la prévention des maladies à phytoplasmes, en favorisant la rémission des vignes qui est un phénomène encore mal compris. Elle peut être temporaire ou définitive selon les cépages, les conditions environementales et la présence de réinfection. En Europe, une taille automnale, consistant à éliminer les branches symptomatiques, est connue pour réduire l'incidence des maladies à phytoplasmes l'année suivante. La taille automnale permet aussi de réduire le nombre d'insectes nuisibles qui hivernent dans l'écorce de la vigne. Les phytoplasmes localisés dans les racines des vignes peuvent survivre aux températures froides de l'hiver. La taille printanière permet également d'éliminer une partie des phytoplasmes qui recommencent à circuler dans la plante au moment de la reprise de la circulation de la sève et du débourrement, réduisant ainsi la quantité d'inoculum, qui pourrait être absorbé et distribué par les vecteurs.

Le buttage consiste à ramener de la terre des inter-rangs pour former un monticule protecteur autour de la base des ceps. Effectuée tard en automne, cette opération permet d'éliminer de nombreux ravageurs et parasites présents dans le sol. Au printemps, un deuxième travail du sol est effectué pour enlever les buttes et nettoyer les vignes. Le buttage contribue vraisemblablement à réduire la propagation des cicadelles et des phytoplasmes dans les vignobles.

Gestion des plantes couvre-sol et des réservoirs potentiels de phytoplasmes

Certaines maladies à phytoplasmes de la vigne, comme les jaunisses de l'aster, peuvent affecter d'autres plantes poussant à l'intérieur et autour des vignobles. Le travail du sol entre les rangs (Fig. 35) permet d'éliminer la grande majorité des plantes réservoirs et des mauvaises herbes. Le désherbage mécanique ou manuel à la base des ceps contribue à enrayer la propagation de phytoplasmes des mauvaises herbes à la vigne en réduisant le risque de transmission de maladies par les cicadelles et en limitant la présence de plantes réservoirs à proximité des ceps.

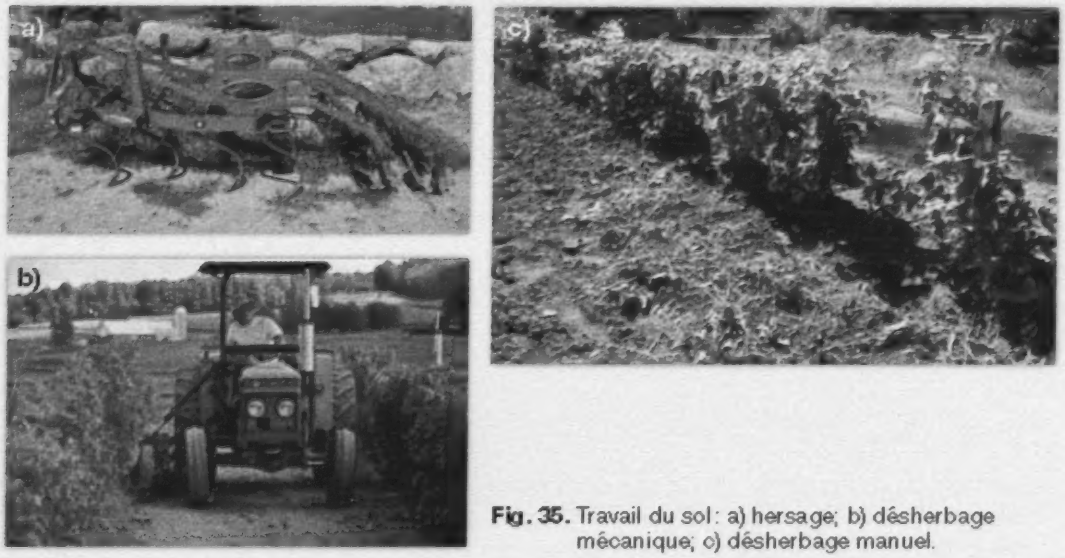

Fig. 35. Travail du sol : a) hersage; b) désherbage mécanique; c) désherbage manuel.

Certains viticulteurs maintiennent un couvert de graminées entre les rangs de leur vignoble pour prévenir l'érosion, accroître la biodiversité végétale ou assurer un bon drainage. En effet, certaines espèces végétales servent également d'hôtes à divers prédateurs et ennemis naturels contribuant à réduire les populations de cicadelles. Cependant, certaines espèces de graminées ou de trèfles peuvent également procurer un refuge à de nombreuses espèces de cicadelles et leur faciliter l'accès aux vignes. Les mauvaises herbes qui poussent entre les rangs ou sur les bords du vignoble peuvent servir de réservoirs de phytoplasmes et accroître le risque de propagation de maladies à phytoplasmes dans le vignoble. Les plantes qui poussent en périphérie du vignoble peuvent également servir de refuge aux cicadelles qui hibernent sous les feuilles mortes.

Fig. 36. Bandes enherbées entre les rangs d'un vignoble a) au Québec, b) en Ontario (Photo Jacques Lasnier).

Il est donc important d'entretenir (e.g. tonte) correctement les bandes enherbées entre les rangs (Fig. 36, 37a) et de bien choisir les espèces végétales qui seront utilisées comme couvre-sol entre les rangs et autour du vignoble. Les secteurs envahis par des graminés et des mauvaises herbes (Fig. 37b) autour des vignobles peuvent également favoriser la transmission de maladies, car les mauvaises herbes et les cicadelles qui y sont associées peuvent être vectrices de phytoplasmes. Un certain nombre d'espèces de cicadelles se nourrissent sur les mauvaises herbes poussant à l'intérieur ou autour des vignobles et peuvent inoculer des phytoplasmes à la vigne (Weintraub et Beanland 2006). C'est le cas de *Hyalesthes obsoletus* en Europe et d'autres vecteurs de phytoplasmes aux États-Unis (Hopkins et Purcell 2002; Beanland et al. 2006).

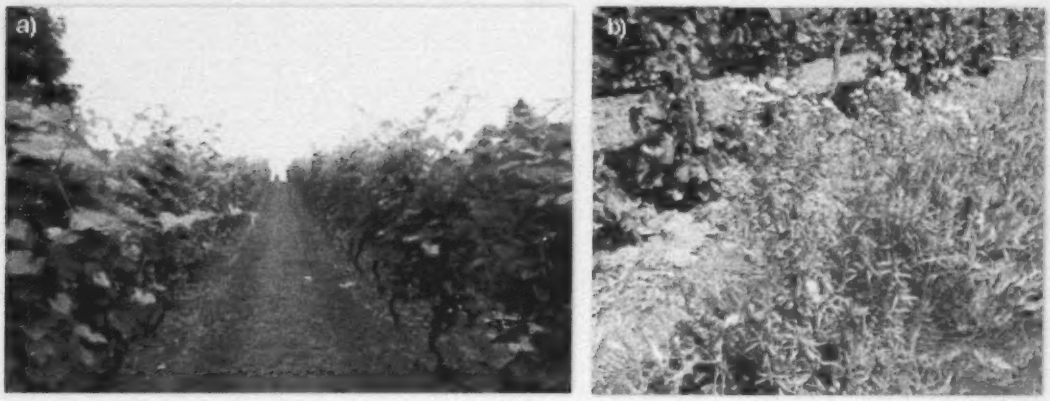

Fig. 37. a) Vignoble de Nouvelle-Écosse avec une zone enherbée entre les rangs, b) portion d'un vignoble envahi par diverses espèces de mauvaises herbes (Photos Jacques Lasnier).

Certaines plantes qui poussent en périphérie du vignoble peuvent également servir de refuge ou d'hôte aux cicadelles. C'est le cas de la vigne vierge et de la vigne des rivages (Fig. 38) avant le débourrement de la vigne au printemps ou pendant l'été. A l'automne, ces mêmes plantes peuvent également être utilisées comme refuge par les cicadelles à la recherche d'un site d'hibernation. Il est donc recommandé d'éliminer ces plantes afin de réduire les populations de cicadelles près des vignobles.

Fig. 38. La vigne des rivages et la vigne vierge peuvent servir de refuge aux cicadelles.

D'autres plantes sont également trouvées à l'intérieur ou à proximité des vignobles, et plusieurs d'entre elles sont décrites comme des réservoirs potentiels de phytoplasmes. Une liste partielle des espèces de plantes qui devraient faire l'objet de mesures visant à prévenir la propagation de maladies à phytoplasmes est présentée dans les pages suivantes (Fig. 39 à 56). Les noms communs des plantes présentées ci-après sont tirés de Darbyshire (2003).

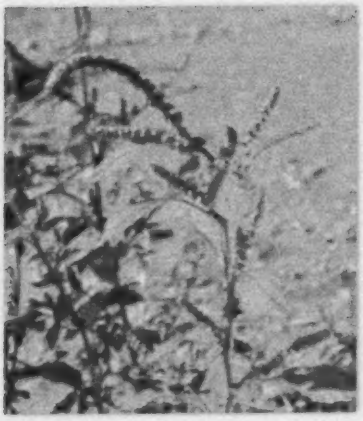

Fig. 39. Amaranthe de Powell (*Amaranthus powellii*).

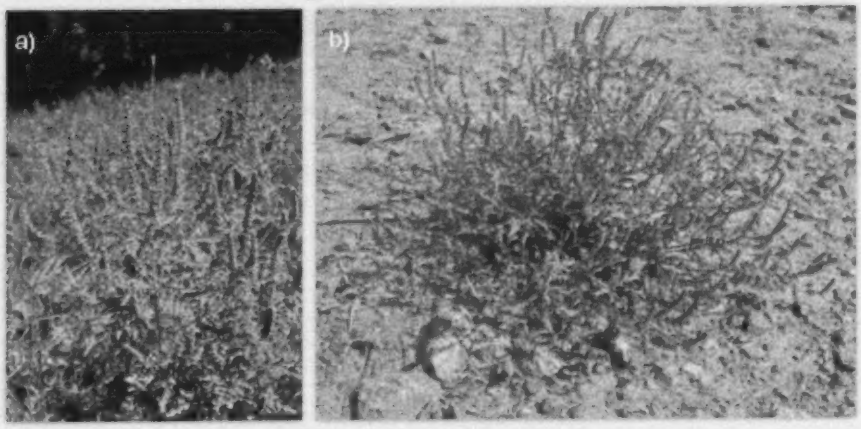

Fig. 40. Petite herbe à poux (*Ambrosia artemisiifolia*): a) vue générale d'une colonie; b) plante isolée.

Fig. 41. Renouée liseron (*Fallopia convolvulus*) (anciennement *Polygonum convolvulus*).

Fig. 42. Digitaire sanguine (*Digitaria sanguinalis*).

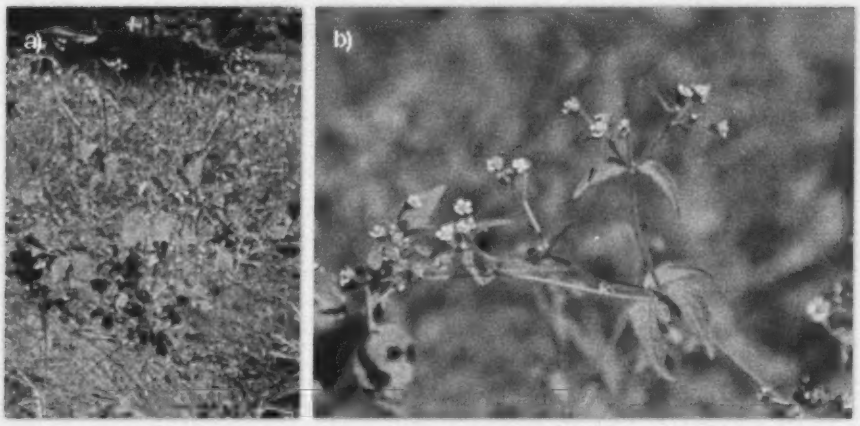

Fig. 43. Galinsoga cilié (*Galinsoga quadriradiata*): a) vue générale; b) détail.

Fig. 44. Luzerne (*Medicago sativa*).

Fig. 45. Oxalide d'Europe (*Oxalis stricta*).

Fig. 46. Renouée persicaire (*Persicaria vulgaris*) (anciennement *Polygonum persicaria*).

Fig. 47. Phléole des prés (*Phleum pratense*).

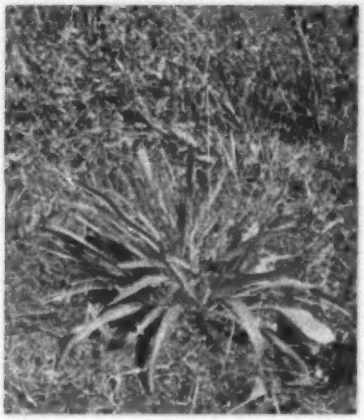

Fig. 48. Plantain à feuilles lancéolées (*Plantago lanceolata*).

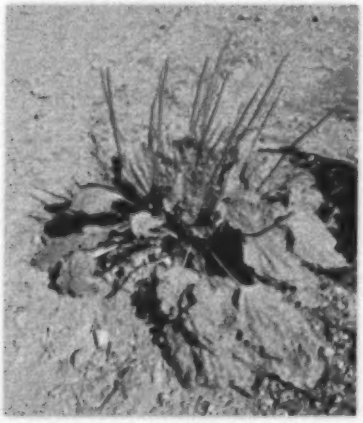

Fig. 49. Plantain majeur (*Plantago major*).

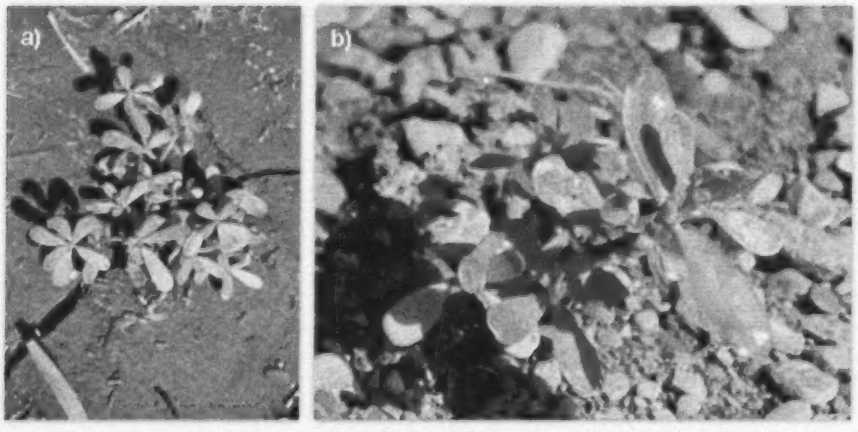

Fig. 50. Pourpier potager (*Portulaca oleracea*): a) vue générale; b) détail.

Fig. 51. Lychnide blanche (*Silene pratensis*) (anciennement *Lychnis alba*).

Fig. 52. Verge d'or du Canada (*Solidago canadensis*).

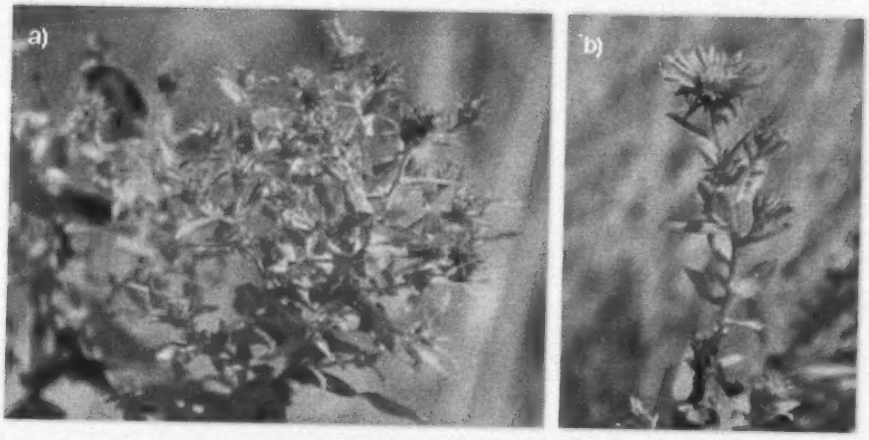

Fig. 53. Aster de la Nouvelle-Angleterre (*Symphyotrichum novae-angliae*) (anciennement *Aster novae-angliae*): a) vue générale; b) détail.

Fig. 54. Aster simple (*Symphyotrichum lanceolatum)* (anciennement *Aster simplex*): a) vue générale; b) détail.

Fig. 55. Trèfle rouge (*Trifolium pratense*).

Fig. 56. Vesce jargeau (*Vicia cracca*).

5.2. Surveillance et contrôle des cicadelles

Bien que de nombreuses espèces de cicadelles soient associées exclusivement aux vignes, d'autres espèces se trouvent dans les vignobles seulement durant de courtes périodes mais ne se nourrissent pas nécessairement sur la vigne. Les espèces qui se nourrissent sur les plantes à feuilles larges (herbacées non graminoïdes et arbustes) peuvent être vectrices de maladies, d'où l'importance du rôle des pratiques culturales décrites précédemment dans la lutte contre les populations de cicadelles dans les vignobles.

Surveillance visuelle

Les cicadelles peuvent être détectées visuellement. Elles peuvent être observées en vol dans les parcelles de vignes, en particulier le matin ou après le passage d'une machine agricole. La surveillance visuelle des plantes permet également de déceler les piqûres sur les feuilles, les changements de coloration ou les dommages dus à la brûlure de la cicadelle. Un examen minutieux pourra révéler la présence d'œufs de cicadelles sur la face inférieure des feuilles.

Fauchage

L'utilisation d'un filet entomologique, en effectuant des mouvements latéraux selon un angle de 180 degrés entre les rangs et sur les plantes permet de capturer les insectes volants (Fig. 57). Cette technique d'échantillonnage permet de collecter des cicadelles à un moment précis et d'obtenir une estimation de la taille des populations de cicadelles. Le fauchage est cependant une méthode non sélective qui entraîne la capture de nombreuses autres espèces d'insectes. Comme cette technique permet de collecter des insectes vivants, il est possible d'identifier rapidement les espèces de cicadelles présentes dans le vignoble ou de les utiliser dans le cadre d'expériences en laboratoire nécessitant l'élevage ou l'utilisation d'individus vivants. Le fauchage des graminées n'est pas recommandé, car certaines espèces de cicadelles qui n'attaquent pas la vigne y sont très abondantes.

Fig. 57. Échantillonnage de cicadelles à l'aide d'un filet fauchoir (Photo Jacques Lasnier).

Piégeage à l'aide de pièges jaunes collants

On peut utiliser des pièges jaunes collants pour dépister l'évolution des populations de cicadelles sur une longue période. Les pièges doivent être placés à des hauteurs diverses dans le feuillage des vignes. On évitera toutefois d'installer des pièges près du sol afin de réduire le plus possible la capture d'insectes se nourrissant de graminées. Cette méthode de dépistage non sélective capture tous les insectes volants attirés par la couleur jaune (Fig. 58). L'identification des insectes englués sur les pièges est cependant difficile.

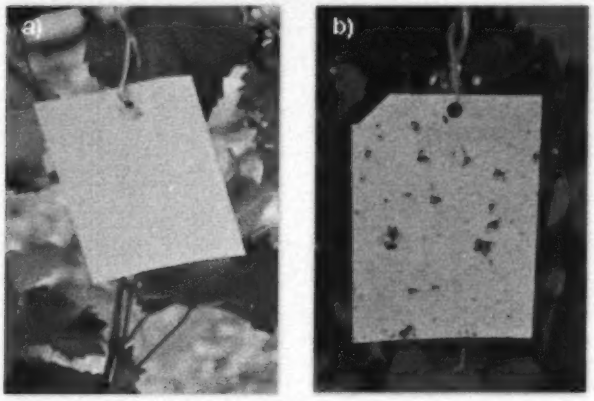

Fig. 58. Dépistage des cicadelles à l'aide de pièges jaunes collants: a) piège fraîchement installé; b) aspect d'un piège après une semaine.

Battage

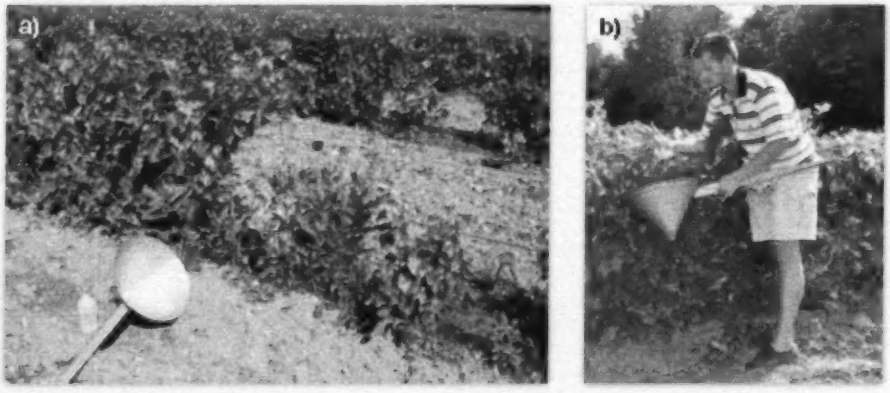

Fig. 59. Échantillonnage des cicadelles par battage: a) équipement; b) technique.

Le battage (Fig. 59) consiste à secouer le feuillage de vigne plusieurs fois au-dessus d'un entonnoir en métal pulvérisé avec de l'éthanol à 70%. Cette méthode est non sélective, car tous les arthropodes présents dans le feuillage peuvent tomber dans l'entonnoir. L'échantillonneur frappe le feuillage de vigne cinq fois par mètre de rang, à des hauteurs différentes dans le feuillage. Les cicadelles (nymphes et adultes) tombent dans l'entonnoir et sont tuées immédiatement. Elles demeurent à la surface de l'entonnoir grâce à l'éthanol et peuvent être récoltées à l'aide d'un pinceau et transférées dans un tube contenant de l'éthanol à 70% jusqu'à leur identification. Cette méthode est généralement utilisée pour les travaux de surveillance sur le terrain et les études taxonomiques (identification sur la base de critères morphologiques ou par analyse bio-moléculaire).

Insecticides

Fig. 60. Épandage de pesticides en vignobles: a) pulvérisateur pneumatique au Québec, b) pulvérisateur récupérateur en Ontario (Photo Queen's Printer for Ontario 2015. Reproduced with permission); et c) pulvérisateur pneumatique en Ontario (Photo Wendy McFadden-Smith).

Plusieurs insecticides sont homologués pour la lutte contre les cicadelles au Canada. Les seuils d'action sont toutefois rarement atteints, et il n'est pas nécessaire d'utiliser des insecticides (Fig. 60) pour réduire les populations de cicadelles. Les doses recommandées varient considérablement. Selon la période d'application, l'utilisation d'un pesticide à large spectre utilisé pour contrôler d'autres insectes peut être suffisante pour réduire les populations de cicadelles. Il est donc important de vérifier les recommandations formulées par les autorités phytosanitaires de chaque province. Les renseignements sur les produits recommandés sont généralement publiés par les Ministères provinciaux de l'agriculture.

Le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des affaires rurales de l'Ontario (2014) publie chaque année des recommandations relatives à la production de cultures fruitières. Le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (2014) publie également un guide des traitements phytosanitaires pour le Québec. Une liste des pesticides utilisés dans les vignobles de Nouvelle-Écosse est proposée par Perennia (2013). Les viticulteurs peuvent utiliser ces documents pour déterminer les produits et les doses à utiliser et connaître les conditions d'applications optimales dans leur province. Une autre source d'information est l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire de Santé Canada (ARLA), qui affiche sur son site Web les renseignements inscrits sur les étiquettes de tous les produits antiparasitaires homologués au Canada (ARLA 2015).

Comme les pesticides peuvent être toxiques pour les abeilles, les prédateurs et les insectes bénéfiques, il est important d'utiliser ces produits avec prudence afin d'en réduire les effets néfastes sur les populations d'arthropodes bénéfiques dans les vignobles.

Une gestion rationnelle des pesticides dans les vignobles du Québec au cours des vingt dernières années a permis de maintenir certaines populations de prédateurs de cicadelles tel que l'acarien prédateur *Anystis baccarum* (Bostanian et al. 2005, 2006; Laurin et Bostanian 2007; J. Lasnier, données non publiées). L'utilisation judicieuse des insecticides contribue également à prévenir l'apparition d'une résistance aux insecticides chez les cicadelles.

Ennemis naturels

Bien qu'elles soient capables d'échapper rapidement à leurs ennemis (en courant, en sautant ou en volant), les cicadelles sont les proies ou les hôtes de nombreux ennemis naturels dans les vignobles. Divers prédateurs généralistes (p. ex. coléoptères, fourmis et punaises) sont d'excellents prédateurs de cicadelles et dévorent un grand nombre de nymphes. Les araignées détruisent également un grand nombre de cicadelles dans les vignobles (Bolduc et al. 2005). Un petit acarien prédateur rouge visible à l'œil nu, *Anystis baccarum* (Fig. 61), se déplace rapidement sur les feuilles de vigne et peut capturer un grand nombre de proies quotidiennement.

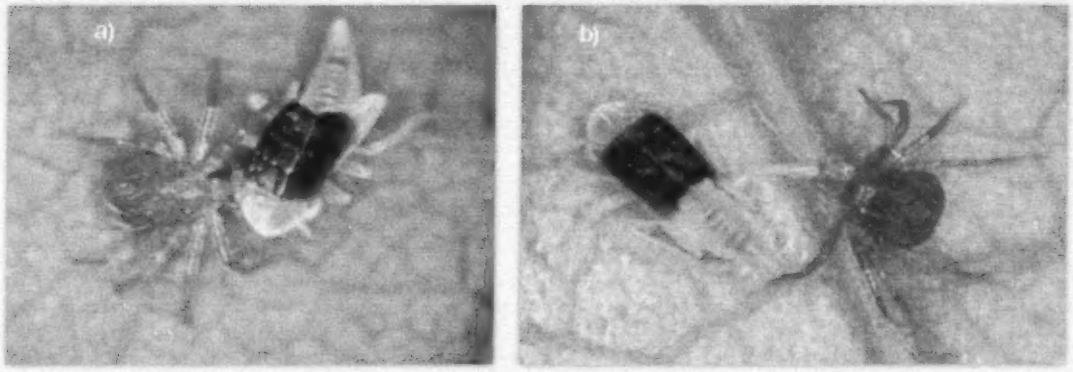

Fig. 61. *Anystis baccarum* attaquant une nymphe de cicadelle : a) au niveau de l'œil; b) par une patte.

Plusieurs espèces d'insectes parasitent les cicadelles. Par exemple, les femelles de certaines espèces de la famille des Mymaridae (d'au moins quatre genres) pondent leurs œufs dans les œufs de cicadelles. Les larves de la famille des Pipunculidae se développent dans les cicadelles, et un abdomen gonflé est un signe de parasitisme. Les larves de la famille des Dryinidae (parasites) vivent de façon sous-cutanée dans leurs hôtes (cicadelles). Certains parasites de l'ordre Strepsiptera s'extrudent des sclérites abdominaux de leurs hôtes.

Méthodes physiques

De nouvelles méthodes de lutte ont été mises au point au cours des dernières années. Une de ces méthodes consiste à installer des filets de plusieurs mètres de hauteur créant une barrière physique autour des parcelles pour empêcher les insectes d'atteindre leurs hôtes. Des filets absorbant les rayons ultraviolets pour empêcher les cicadelles de pénétrer dans les serres ont également été testés (Weintraub et al. 2008; Olivier et al. 2012).

Plantes résistantes

Les cépages diffèrent les uns des autres par la structure et la physiologie de leur feuillage, et ces différences peuvent avoir une incidence sur leur vulnérabilité aux attaques des cicadelles. Des programmes de recherche ont également été entrepris pour identifier les cultivars et les porte-greffes résistants aux cicadelles ou aux phytoplasmes ou aux deux (Olivier et al. 2012).

5.3. Prévention

Au Canada, il n'existe aucune méthode de lutte directe contre les phytoplasmes chez les plantes infectées. La mise en place de mesures phytosanitaires rigoureuses et l'application de stratégies de lutte appropriées s'imposent donc en cas de détection de certaines maladies.

Traitement des plantes importées: traitement à l'eau chaude

Au cours des années 2000, le Canada a importé d'Europe environ 1,5 à 2 millions de vignes par année. Comme la Flavescence Dorée et le Bois Noir sévissent en Europe, le risque d'importer ces maladies à phytoplasmes avec des plantes infectées est important (Foissac et Wilson 2010). Pour prévenir l'introduction de la Flavescence Dorée ou la réintroduction du Bois Noir, deux maladies réglementées au Canada, l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) a mis en place des règlements stricts régissant l'importation de plantes et la déclaration de parcelles infectées. Les viticulteurs ont été invités à intensifier leurs activités de surveillance et à signaler la présence de toute vigne présentant des symptômes de maladies à phytoplasme afin d'aider à retracer l'origine du matériel importé infecté. Une autre directive énonce les exigences régissant l'importation de matériel de multiplication de vigne et fournit une liste des pays, des clones et des pépinières approuvés pour l'importation de porte-greffe et de cépages au Canada (ACIA 2014).

Un permis est requis pour l'importation de vignes. Le matériel doit provenir d'un établissement certifié, et la source du matériel végétal doit être approuvée par l'ACIA (ACIA 2014). L'ACIA inspecte les plantes à leur point d'entrée au Canada, et les inspecteurs peuvent prélever des échantillons à des fins d'analyse.

Les vignes doivent satisfaire aux exigences phytosanitaires applicables à leur importation au Canada. Elles doivent être soumises à un traitement à l'eau chaude destiné à désinfecter le matériel destiné au greffage ou à l'importation et qui consiste à immerger les tiges, les boutures et les jeunes plantes dans un bain d'eau chaude maintenue à une température de 50 °C pendant une période minimale d'au moins 35 minutes. Les mesures mises en place par l'ACIA sont similaires à celles prises par les pays européens (ACIA 2014).

Élimination des vignes contaminées et déclaration des parcelles infectées

En Europe, la Flavescence Dorée et le Bois Noir sont des maladies de quarantaine. Des arrêtés ministériels énoncent les mesures phytosanitaires prescrites contre la Flavescence Dorée et à son vecteur. Lorsque des cas de ces maladies sont détectés, les mesures de lutte suivantes doivent être mises en place:

- Signalement de l'infection.
- Arrachage et brûlage des vignes infectées.
- Établissement d'un périmètre d'intervention.
- Réalisation de traitements insecticides contre le vecteur dans les parcelles infectées et les pépinières.
- Destruction des greffons ou porte-greffe infectés dans les pépinières.

Lorsqu'un cas de Flavescence Dorée est signalé dans une municipalité, celle-ci doit en aviser les autorités phytosanitaires. La municipalité est alors désignée « zone contaminée » pour une période minimale de deux ans. Ce statut lui est retiré seulement une fois l'absence de plantes infectées par la Flavescence Dorée confirmée.

Lorsque le taux d'infection atteint 20 %, les viticulteurs doivent arracher et brûler tous les ceps dans la parcelle infectée. Aux fins de la récolte du bois de greffe porte-greffe, ils doivent établir un périmètre de sécurité de 1 km autour de la parcelle infectée. Le bois de greffe récolté doit être traité à l'eau chaude, et toute plantation est interdite dans un rayon de 300 m autour de la parcelle contaminée.

Dans les régions à haut risque où des cas de Flavescence Dorée ont été signalés, les parcelles doivent faire l'objet de traitements insecticides annuels selon les spécifications des autorités phytosanitaires compétentes, qui imposent le nombre de traitements à effectuer (maximum de trois) en se fondant sur la période d'émergence et la taille des populations des cicadelles vectrices.

En Europe, aucune mesure de lutte obligatoire n'est imposée contre le Bois Noir. Les vignes infectées doivent cependant être arrachées et brûlées si la présence de la maladie est confirmée.

Aucun cas de Flavescence Dorée n'a encore été signalé au Canada, même si la cicadelle vectrice, *Scaphoideus titanus*, est indigène à l'Est du Canada. Toutefois, lorsque des cas de Bois Noir ont été découverts en 2007, tout le matériel infecté a été détruit, et les parcelles contaminées ont fait l'objet d'une surveillance stricte au cours des années qui ont suivi (Rott et al. 2007). Même si la jaunisse de l'aster est largement répandue dans les vignobles et dans d'autres cultures, aucune mesure de lutte particulière n'a encore été mise au point contre cette maladie. C'est également le cas pour les autres maladies à phytoplasmes qui sévissent dans les vignobles. Tel que mentionné précédemment, les viticulteurs disposent toutefois de programmes de lutte contre les cicadelles (voir § 5.2. *Surveillance et répression des cicadelles*).

6. Techniques d'étude

6.1. Élevage des cicadelles

Comme l'identification des nymphes de cicadelles est souvent difficile, il peut être utile d'élever les nymphes jusqu'au stade adulte. Il est possible d'élever en laboratoire certaines espèces de cicadelles associées à la vigne dans le but d'étudier leur développement et leur comportement ou d'évaluer leur résistance ou leur sensibilité aux pesticides. Saguez et Vincent (2011) ont mis au point une méthode d'élevage sur feuilles de vigne en boîte de Petri pour les trois espèces *Erythroneura elegantula*, *E. vitis* et *E. ziczac* (Fig. 62). Cette méthode exige une quantité de vignes relativement moindre que l'élevage de masse sur plante entière. Voici un aperçu de cette méthode : une feuille de vigne est déposée dans une boîte de Petri contenant une solution d'agar-agar en voie de se gélifier. L'agar-agar permet de maintenir un taux d'humidité approprié dans les boîtes de Petri et prévient le dessèchement rapide des feuilles isolées servant de nourriture à environ 30 nymphes. Le couvercle de la boîte de Petri est recouvert d'un papier filtre servant à recueillir les gouttelettes de miellat excrétées par les cicadelles et le surplus d'humidité. Les boîtes de Petri doivent être inversées de manière à ce que la feuille de vigne qu'elles contiennent se trouve au-dessus du papier filtre.

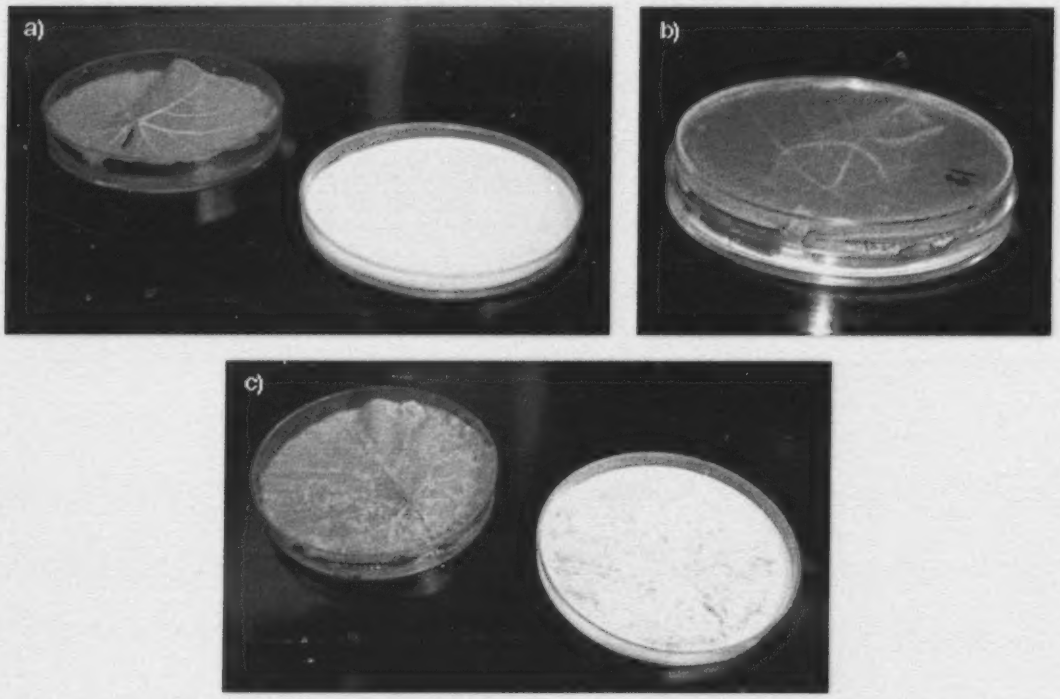

Fig. 62. Élevage de cicadelles dans des boîtes de Petri : a) et b) montage pour élevage; c) montage après une semaine.

Cette méthode comporte un certain nombre d'avantages. Elle permet notamment de manipuler et de synchroniser le développement des cicadelles et d'évaluer l'efficacité de certains insecticides ou biopesticides contre les divers stades de développement des cicadelles. Cette méthode peut être utilisée à profit pour initier un nouvel élevage, notamment en cas d'infection par un pathogène ou d'infestation par un autre insecte.

6.2. Maintien des souches de phytoplasmes

Jusqu'à présent, la culture in vitro de phytoplasmes en laboratoire était considérée comme impossible à réaliser. Contaldo et al. (2012) ont toutefois réussi à cultiver quelques phytoplasmes in vitro, incluant des phytoplasmes 16SrXII-A associés à une jaunisse de la vigne. La façon la plus commune de conserver des souches de phytoplasmes est d'élever des cicadelles sur des plantes infectées par des phytoplasmes. Pour maintenir le cycle épidémiologique, il faut disposer d'espèces de cicadelles vectrices ou de plantes infectées. Il est également important de disposer d'un grand nombre d'insectes et de plantes pour assurer l'infection de nouvelles plantes. Des espèces telles que *Macrosteles quadrilineatus* peuvent être vectrices de jaunisses de l'aster et sont faciles à élever sur l'orge. Pour assurer la pérennité des souches de phytoplasmes, il faut remplacer les plantes régulièrement, ce qui peut être fastidieux dans le cas de plantes vivaces comme la vigne. Les projets nécessitant l'utilisation de phytoplasmes, en particulier d'espèces causant des maladies de quarantaine réglementées comme la Flavescence Dorée et le Bois Noir, doivent être réalisés dans des serres de confinement.

6.3. Études histologiques

Plusieurs méthodes histologiques peuvent être utilisées pour étudier les dommages infligés aux plantes par les cicadelles. Les cicadelles doivent enfoncer leurs stylets dans les tissus de la plante hôte pour en aspirer le contenu. Au début de la pénétration et parfois durant la prise du repas, les cicadelles sécrètent une petite quantité de salive qui forme une gaine protectrice autour de leurs stylets. Cette gaine limite la production de molécules de défences par les plantes et protège l'insecte contre ces molécules. On peut recourir à des techniques d'observation microscopique par coloration pour localiser les piqûres des cicadelles dans les différents tissus des plantes (Fig. 63 et 64) et évaluer le risque de transmission de maladies. La coloration des gaines salivaires avec du bleu de trypan permet de les localiser dans les tissus foliaires. Pour observer la structure des feuilles et l'organisation des divers tissus, on procède à une coloration des tissus avec du bleu de toluidine O (TBO) et à la préparation de coupes ultrafines à l'aide d'un microtome. La combinaison de ces deux techniques permet d'observer la trajectoire suivie par les stylets dans les tissus de la plante (Saguez et al. 2015).

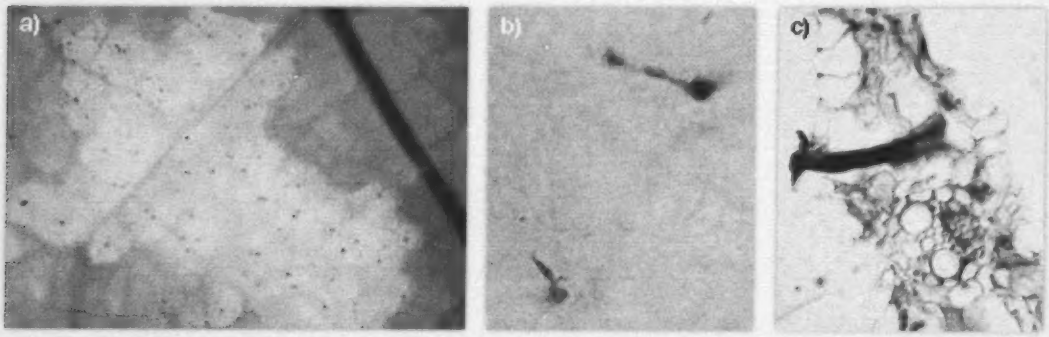

Fig. 63. Coloration à l'aide de bleu de trypan révélant l'emplacement des piqûres effectuées par les cicadelles: a) piqûres de cicadelles dans une feuille de vigne; b) gaine salivaire d'une cicadelle du genre *Erythroneura* (Source: Saguez et al. 2015); c) piqûre de *Macrosteles quadrilineatus* dans une feuille d'orge.

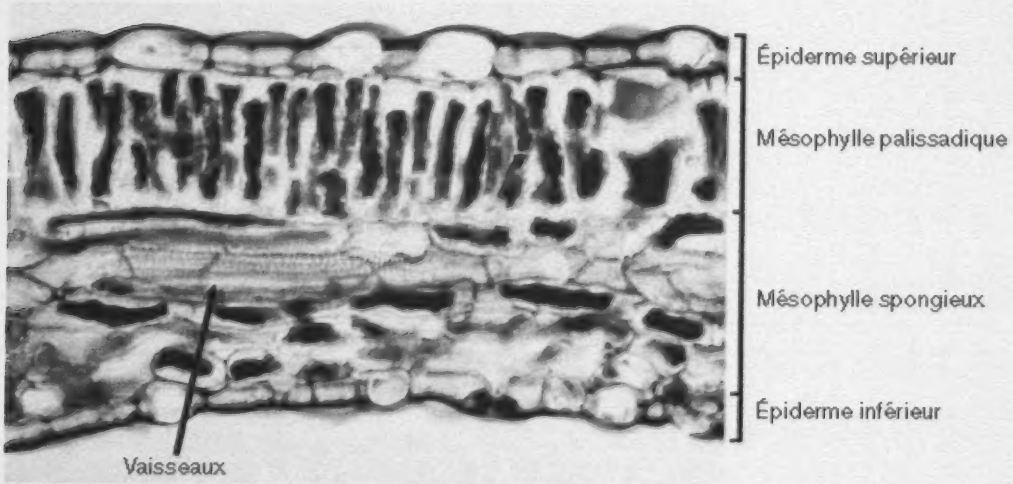

Fig. 64. Coupe transversale d'une feuille de vigne et les différents types de tissus (Source: Saguez et al. 2015).

6.4. Analyse électropénétrographique du comportement d'alimentation des cicadelles

La réalisation d'études comportementales complémentaires aux analyses histologiques permet de mieux comprendre les interactions entre les cicadelles, les vignes et les phytoplasmes. Le comportement alimentaire des cicadelles peut être étudié à l'aide de techniques d'électropénétrographie (EPG). L'EPG fait de la cicadelle un élément d'un circuit électrique (Fig. 65) en la raccordant à une électrode positive et en reliant la plante à l'électrode négative (mise à la terre). En bref, un clou en laiton est soudé à un fil de cuivre de 2 cm de longueur (Fig. 65a). Un fil d'or de 5 cm de longueur et de 20 µm de diamètre est ensuite fixé au fil de cuivre avec de la colle argentique à une extrémité et sur le pronotum de la cicadelle à l'autre extrémité (Fig. 65a et b). Comme les cellules de la plante sont chargées électriquement, chaque fois que la cicadelle insère ses stylets dans les tissus de la plante, le circuit est fermé, ce qui génère des variations de voltage. L'enregistrement obtenu diffère selon le type de tissu attaqué et est caractéristique du type de nourriture ingéré (contenu cellulaire ou liquides). L'EPG permet de distinguer les étapes de pénétration, d'excrétion de salive et d'ingestion (Fig. 66) comme cela a pu être réalisé chez trois espèces du genre *Erythroneura* (Saguez et al. 2015).

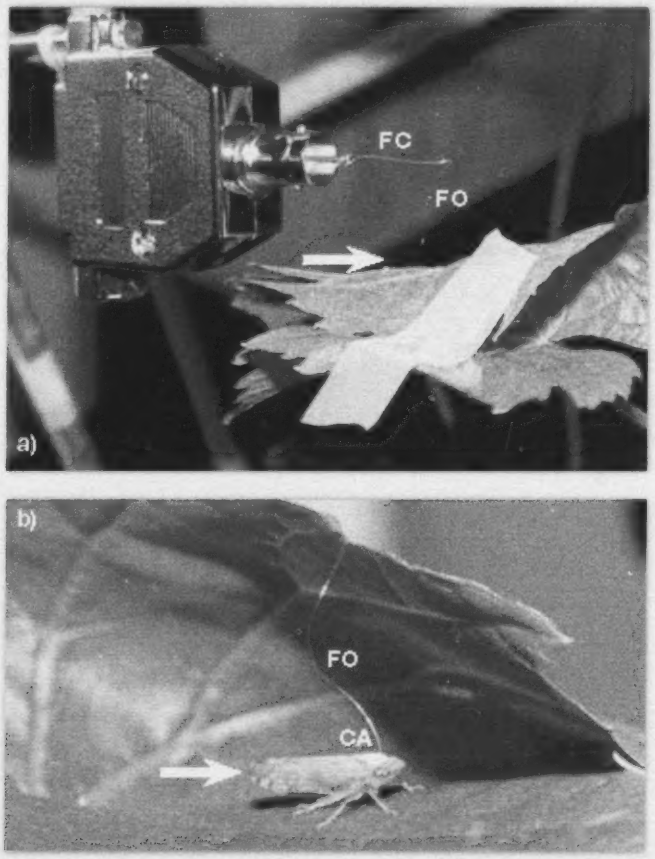

Fig. 65. Électropénétrographie: a) électrode positive; b) cicadelle (flèche blanche) connectée à l'électrode positive et en contact avec la feuille (FC : fil de cuivre; FO : fil d'or; CA : colle d'argent).

L'EPG permet de déterminer si les cicadelles se nourrissent du xylème, du phloème ou du mésophylle et d'évaluer le temps consacré dans chaque tissu de la plante. Cette technique fournit de l'information sur la résistance de la plante aux attaques d'un ravageur et permet de déterminer si une cicadelle peut être considérée comme un vecteur potentiel de maladies.

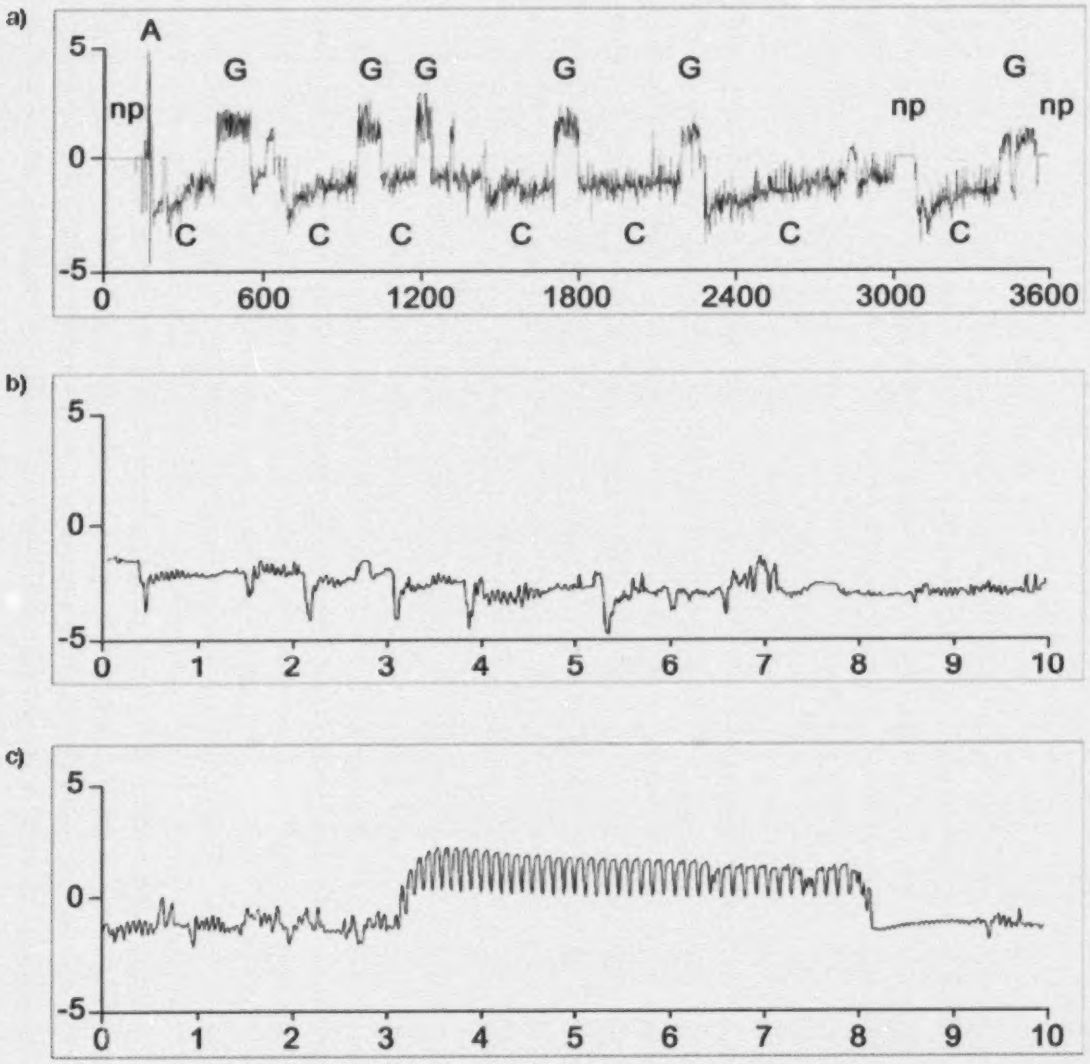

Fig. 66. Électropénétrogrammes: a) profil global d'une heure (np: non-pénétration; A: attaque; C: alimentation dans le mésophylle; G: alimentation dans le xylème); b) signal caractéristique lors de l'alimentation dans le mésophylle (10 minutes); c) signal caractéristique lors de l'alimentation dans le xylème (10 minutes) (Source: Saguez et al. 2015).

Conclusion

L'identification des cicadelles, qu'elles soient nymphes ou adultes, est difficile. De nombreuses espèces se ressemblent et peuvent être confondues les unes avec les autres. Si la présence de cicadelles est soupçonnée et qu'une espèce susceptible d'infliger des dégâts considérables est identifiée, il est recommandé de soumettre des échantillons à un taxonomiste afin de faire confirmer l'identité des cicadelles échantillonnées dans le vignoble.

L'identification des plantes infectées par des phytoplasmes peut également être difficile, car elles peuvent être asymptomatiques et certains symptômes de maladies à phytoplasmes peuvent être confondus avec ceux d'autres maladies de la vigne. La présence de phytoplasmes dans des échantillons potentiellement infectés ne peut être confirmée qu'à l'aide d'analyses bio-moléculaires. Ces analyses fournissent des résultats fiables, mais elles peuvent nécessiter plusieurs jours ou même plusieurs semaines de travail. Il est donc recommandé de faire appel à l'expertise de chercheurs ou de spécialistes pour éviter les erreurs de diagnostic.

L'application de pratiques culturales rigoureuses et de méthodes de lutte efficaces contre les cicadelles et les plantes hôtes pouvant servir de réservoir à des phytoplasmes permet d'accroître le niveau de protection accordé aux vignes. Les viticulteurs ne doivent utiliser que du matériel de plantation sain et certifié.

Afin de réduire le risque de propagation de maladies à phytoplasmes dans les vignobles, les viticulteurs doivent :

- surveiller les populations de cicadelles et mettre en place des mesures de lutte si une forte infestation par certaines espèces de cicadelles est détectée;
- identifier les espèces de cicadelles présentes dans leur vignoble;
- identifier les symptômes sur les vignes;
- contacter des spécialistes si une infection est soupçonnée;
- éliminer le plus grand nombre possible de plantes hôtes des vecteurs connus ou potentiels;
- adopter des mesures de lutte durables axées sur l'utilisation et la protection d'ennemis naturels des cicadelles;
- éliminer les plantes infectées.

Références

Alma A., Bosco D., Danielli A., Bertaccini A., Vibio M., Arzone A. 1997. Identification of phytoplasmas in eggs, nymphs and adults of *Scaphoideus titanus* Ball reared on healthy plants. *Insect Mol Biol* 6: 115–121.

Batlle A., Laviña A., Kuszala C., Clair D., Larrue J., Boudon-Padieu E. 1997. Detection of flavescence dorée phytoplasma in grapevine in northern Spain. *Vitis* 36: 211–212.

Beanland L., Noble R., Wolf T. 2006. Spatial and temporal distribution of North American grapevine yellows disease and potential vectors of the causal phytoplasmas in Virginia. *Environ Entomol* 35: 332–344.

Beirne B.P. 1956. Leafhoppers (Homoptera: Cicadellidæ) of Canada and Alaska. *Mem Entomol Soc Can* 88, suppl. 2: 5–180.

Bertaccini A., Duduk B. 2009. Phytoplasma and phytoplasma diseases: A review of recent research. *Phytopathol Mediterr* 48: 355–378.

Bolduc E., Buddle C.M., Bostanian N. J., Vincent C. 2005. The Ground-Dwelling Spiders (Aranæ) of two vineyards in Southern Quebec. *Environ Entomol* 34: 635–645.

Bostanian N.J., Vincent C., Goulet H., Lesage L., Lasnier J., Bellemare J., Mauffette Y. 2003. The arthropod fauna of Quebec vineyards with particular reference to phytophagous arthropods. *J Econ Entomol* 96: 1221–1229.

Bostanian N.J., Lasnier J., Trudeau M., Racette G. 2005. Les auxiliaires échantillonnés dans des vignobles de Dunham et St-Alexandre, au Québec. *In* La viticulture au Québec. Vol. 2. Vincent C., Lasnier J., Bostanian N.J. (eds.). pp. 37–40. Accessible depuis : http://eduportfolio.org/6644/

Bostanian N.J., Bourgeois G., Vincent C., Plouffe D., Trudeau M., Lasnier J. 2006. Modeling leafhopper nymphs in temperate vineyards for optimal sampling. *Environ Entomol* 35: 1477–1482.

Bressan A., Larrue J., Boudon-Padieu E. 2006. Patterns of phytoplasma-infected and infective *Scaphoideus titanus* leafhoppers in vineyards with high incidence of Flavescence dorée. *Entomol Exp Appl* 119: 61–69.

Caudwell A., Meignoz R., Kuszala C., Schneider C., Larrue J., Fleury A., Boudon-Padieu E. 1982. Purification immunologique et observation ultramicroscopique en milieu liquide de l'agent pathogène (MLO) d'une jaunisse végétale, la Flavescence dorée de la Vigne. *CR Acad Agr Fr* 68: 407–415.

Cerutti F., Baumgärtner J., Delucchi V. 1992. Research on the grapevine ecosystem in Tessin: IV. Modelling the population dynamics of *Empoasca vitis* Goethe (Hom., Cicadellidæ, Typhlocybinæ). *Boll Ist Entomol Guido Grande Stud Bologna* 46: 179–200.

Chatterjee S., Almeida R.P.P., Lindow S. 2008. Living in two worlds: The plant and insect lifestyles of *Xylella fastidiosa*. *Annu Rev Phytopathol* 46: 243–271.

Claridge M.F., Howse P.E. 1968. Songs of some British *Oncopsis* species (Hemiptera: Cicadellidæ). *Proc R Entomol Soc Lond Ser A Gen Entomol* 43: 57–61.

Constable F.E. 2010. Phytoplasma epidemiology: Grapevines as a model. *In* Phytoplasmas: Genomes, plant hosts and vectors. Weintraub P.G., Jones P. (eds.). CABI, Cambridge, MA, USA. pp. 188–212.

Contaldo, N., Bertaccini, A., Paltrinieri, S., Windsor, H.M., Windsor, D. 2012. Axenic culture of plant pathogenic phytoplasmas. *Phytopathol Mediterr* 51: 607–617.

Costello M.J., Daane K.M. 2003. Spider and leafhopper (*Erythroneura* spp.) response to vineyard ground cover. *Environ Entomol* 32: 1085–1098.

Creasy G.L., Creasy L.L. 2009. Grapes. Crop production science in horticulture series, CABI, Wallingford, UK. 295 p.

Daane K.M., Williams L.E. 2003. Manipulating vineyard irrigation amounts to reduce insect pest damage. *Ecol Appl* 13: 1650–1666.

Darbyshire S.J. 2003. Inventory of Canadian Agricultural Weeds. Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada. Accessible depuis: http://publications.gc.ca/collections/Collection/A42-100-2003E.pdf

Davis R.E., Zhao Y., Dally E.L., Lee I.-M., Jomantiene R., Douglas S.M. 2013. *'Candidatus Phytoplasma pruni'*, a novel taxon associated with X-disease of stone fruits, *Prunus* spp.: Multilocus characterization based on 16S rRNA, *secY*, and ribosomal protein genes. *Int J Syst Evol Microbiol* 63: 766–776.

Dickinson M., Hodgetts J. 2013 (eds.). Phytoplasma Methods and Protocols. Humana Press, New York, 419 p.

Foissac X., Wilson M.R. 2010. Current and possible future distribution of phytoplasma diseases and their vectors. *In* Phytoplasmas: Genomes, plant hosts and vectors. Weintraub P.G., Jones P. (eds.). CABI, Cambridge, MA, USA. pp. 309–324.

Hardman J.M. 2012. Modeling arthropods to support IPM in vineyards. *In* Arthropod management in vineyards: Pests, approaches, and future directions. Bostanian N.J., Vincent C., Isaacs R. (eds.). Springer, Dordrecht, The Netherlands. pp. 37–52.

Hoddle M.S. 2004. The potential adventive geographic range of glassy-winged sharpshooter, *Homalodisca coagulata* and the grape pathogen *Xylella fastidiosa*: implications for California and other grape growing regions of the world. *Crop Protection* 23: 691–699.

Hogenhout S.A., Oshima K., Ammar E.-D., Kakizawa S., Kingdom H.N., Namba S. 2008. Phytoplasmas: Bacteria that manipulate plants and insects. *Mol Plant Pathol* 9: 403–423.

Hopkins D., Purcell A. 2002. *Xylella fastidiosa*: cause of Pierce's disease of grapevine and other emergent diseases. *Plant Disease* 86: 1056–1066.

Laurin M.-C., Bostanian N.J. 2007. Laboratory studies to elucidate the residual toxicity of eight insecticides to *Anystis baccarum* (Acari: Anystidæ). *J Econ Entomol* 100: 1210–1214.

Lessio F., Alma A. 2004. Dispersal patterns and chromatic response of *Scaphoideus titanus* Ball (Homoptera Cicadellidæ), vector of the phytoplasma agent of grapevine flavescence dorée. *Agric Forest Entomol* 6: 121–128.

Lherminier J., Prensier G., Boudon-Padieu E., Caudwell A. 1990. Immunolabeling of grapevine flavescence dorée MLO in salivary glands of *Euscelidius variegatus*: A light and electron microscopy study. *J Histochem Cytochem* 38: 79–85.

Maw H.E.L., Foottit R.G., Hamilton K.G.A., Scudder G.G.E. 2000. Checklist of the Hemiptera of Canada and Alaska. NRC Research Press, Ottawa, Canada. 220 p.

Mizell R.F., Andersen P.C., Tipping C., Brodbeck B. 2012. *Xylella fastidiosa* diseases and their leafhopper vectors. ENY-683, University of Florida, IFAS Extension. 6 p. Accessible depuis : http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN17400.pdf

Olivier C.Y., Lowery D.T., Stobbs L.W. 2009a. Phytoplasma diseases and their relationships with insect and plant hosts in Canadian horticultural and field crops. *Can Entomol* 141: 425-462.

Olivier C.Y., Lowery D.T., Stobbs L.W., Vincent C., Galka B., Saguez J., Bittner L., Johnson R., Rott M., Masters C., Green M. 2009b. First report of aster yellow phytoplasmas ('*Candidatus* Phytoplasma asteris') in Canadian grapevines. *Plant Dis* 93: 669.

Olivier C., Galka B., Saguez J., Vincent C., Lowery D.T., Stobbs L., Whybourne K., Bittner L., Xiansheng C. 2010. Les jaunisses à phytoplasmes dans les vignobles canadiens – Passés, présents et futurs projets de recherche. *Entomol Faun – Faun Entomol* 63: 87–90.

Olivier C., Vincent C., Saguez J., Galka B., Weintraub P., Maixner M. 2012. Leafhoppers and planthoppers: Their bionomics, pathogen transmission and management in vineyards. *In* Arthropod management in vineyards: Pests, approaches, and future directions. Bostanian N.J., Vincent C., Isaacs R. (eds.). Springer, Dordrecht, The Netherlands. pp. 253–270.

Olivier C., Saguez J., Stobbs L., Lowery T., Galka B., Whybourne K., Bittner L., Chen X., Vincent C. 2014. Occurence of phytoplasmas in leafhoppers and cultivated grapevines in Canada. *Agric Ecosyst Environ* 195: 91-97.

Olsen K.N., Cone W.W., Wright L.C. 1998. Influence of temperature on grape leafhoppers in southcentral Washington. *Environ Entomol* 27: 401–405.

Riedle-Bauer M., Hanak K., Regner F., Tiefenbrunner W. 2010. Influence of pruning measures on recovery of Bois Noir-infected grapevines. *J Phytopathol* 158: 628–632.

Rosenberger D.A., Jones A.L. 1978. Leafhopper vectors of the peach X-disease pathogen and its seasonal transmission from chokecherry. *Phytopathology* 68: 782–790.

Rott M., Johnson R., Masters C., Green M. 2007. First report of Bois Noir phytoplasma in grapevine in Canada. *Plant Dis* 91: 1682.

Rouzet J., Bernard P., du Fretay G., Tissot M. 1989. Flavescence dorée: une maladie sous surveillance. *Phytoma* 412: 18–24.

Saguez J., Olivier C., Lasnier J., Vincent C. 2009. Phytoplasmas-leafhoppers-grapevines: An undesirable tritrophic interaction in Canada. *In* Proceedings of the 2nd Symposium on Northern Climate Viticulture (Vitinord 2009), Saint-Hyacinthe, QC, Canada, November 9–11, 2009. pp. 200–208. Accessible depuis : http://eduportfolio.org/6644/

Saguez J., Vincent C. 2011. A method for continuous rearing of grapevine leafhoppers, *Erythroneura* spp. (Hemiptera: Cicadellidæ). *Can Entomol* 143: 102–104.

Saguez J., Olivier C., Hamilton A., Lowery T., Stobbs L., Lasnier J., Galka B., Chen X., Mauffette Y., Vincent C. 2014. Diversity and abundance of leafhoppers (Hemiptera: Cicadellidæ) in Canadian vineyards. *J Insect Sci* 14-73. Open access, http://dx.doi.org/10.1093/jis/14.1.73

Saguez J., Giordanengo P., Olivier C., Lasnier J., Mauffette Y., Vincent C. 2015. Characterization of the feeding behavior of three *Erythroneura* species on grapevine by histological and DC-electrical penetration techniques. *Entomol Exp Applic* 157: 227-240.

Vidano C. 1964. Scoperta in Italia dello *Scaphoideus littoralis* Ball cicalina americana collegata alla "Flavescence dorée" della vite. *Ital Agric* 101: 1031–1049.

Vincent C., Olivier C., Lasnier J., Saguez J. 2015. Dix questions sur le système cicadelles/phytoplasmes/vignes. *Antennæ* 22(2): 3-6.

Weintraub P.G., Beanland L. 2006. Insect vectors of phytoplasmas. *Annu Rev Entomol* 51: 91–111.

Weintraub P.G., Pivonia S., Gera A. 2008. Physical control of leafhoppers. *J Econ Entomol* 101: 1337–1340.

Weintraub P.G., Wilson M.R. 2010. Control of phytoplasma diseases and vectors. *In* Phytoplasmas: Genomes, plant hosts and vectors. Weintraub P.G., Jones P. (eds.). CABI, Cambridge, MA, USA. pp. 233–249.

Wells J.D., Cone W.W. 1989. Biology of *Erythroneura elegantula* and *E. ziczac* (Homoptera: Cicadellidæ) on *Vitis vinifera* in southcentral Washington. *J Entomol Soc B C* 86: 26–33.

Wolf T.K., Prince J.P., Davis R.E. 1994. Occurrence of grapevine yellows in Virginia vineyards. *Plant Dis* 78: 203.

Sources Internet

ACIA 2014 Exigences régissant l'importation de matériel de multiplication de vigne. Agence canadienne de l'inspection des aliments, Directive D-94-34 (3ième révision, 2 juin 2014). Accessible depuis: http://www.inspection.gc.ca/vegetaux/phytoravageurs-especes-envahissantes/directives/date/d-94-34/fra/1321940472117/1321940825401

Association des vignerons du Québec. 2014. Cépages. Accessible depuis: http://vinsduquebec.com/cepages/

ARLA 2015. Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire de Santé Canada. http://www.hc-sc.gc.ca/cps-spc/pest/index-fra.php

Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 2014. Vigne: Guide des traitements phytosanitaires 2014. Accessible depuis: http://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/vigne--guide-des-traitements-phytosanitaires-2014-pdf/p/PPTF0116-04PDF

Grape Growers of Ontario. 2014. Grapes for Wine. Accessible depuis: http://www.grapegrowersofontario.com/grapes_for_wine

Ontario. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation. 2014. Guide de la culture fruitière, 201415. Publication 360F. Accessible depuis: http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/pub360/p360toc.htm

Perennia. 2013. Grape management schedule 2013. Accessible depuis: http://perennia.ca/Pest%20Management%20Guides/Fruits/2013%20Grape%20Insect%20and%20Disease%20Management%20Schedule.pdf

Statistique Canada. 2012. Production de fruits et légumes. N° 22-003-X au catalogue. Février 2012. Accessible depuis: http://www.statcan.gc.ca/pub/22-003-x/22-003-x2011002-fra.pdf

Winery Association of Nova Scotia. 2014. Our Specialities. Accessible depuis: http://winesofnovascotia.ca/about/types-of-wine-and-sparkling-wines/

Remerciements

Les auteurs remercient les viticulteurs canadiens qui leur ont permis de recueillir des données et de prélever des échantillons dans leur vignoble. Ils remercient tout particulièrement Charles-Henri de Coussergues et David Hosteing du Vignoble de l'Orpailleur (Dunham, Québec) d'avoir collaboré à la présente publication.

Les auteurs remercient Pierre Lemoyne (Agriculture et Agroalimentaire Canada, Saint-Jean-sur-Richelieu, Québec) et Brian Galka (Agriculture et Agroalimentaire Canada, Saskatoon, Saskatchewan), qui leur ont fourni un précieux soutien technique, ainsi que Manon Bélanger (Agriculture et Agroalimentaire Canada, Saint-Jean-sur-Richelieu, Québec), qui a identifié les plantes présentes dans les vignobles.

Les auteurs remercient également Cezarina Kora, Shai Ben-Shalom, Marilyn Dykstra et Leslie Cass (Agriculture et Agroalimentaire Canada, Programme de réduction de risque liés aux pesticides du Centre de la lutte antiparasitaire, Ottawa, Ontario), Myriam Lafrenière-Landry et Stéphane Gariépy (Agriculture et Agroalimentaire Canada, Québec, Québec), Anna-Mary Schmidt (Agence canadienne d'inspection des aliments, North Saanich, Colombie-Britannique) et Chuck Lemmon (Agence canadienne d'inspection des aliments, Moncton, Nouveau-Brunswick) et Debra Moreau (Agriculture et Agroalimentaire Canada, Kentville, Nouvelle-Écosse) d'avoir révisé le manuscrit et formulé de nombreux commentaires utiles.

Des remerciements sont également adressés aux nombreux étudiants et stagiaires qui ont participé à ce projet et consacré de nombreuses heures à récolter des cicadelles sur le terrain et à prélever des échantillons de feuilles.

Financement

Ce projet a été financé dans le cadre de l'Initiative de recherche et de développement en génomique du gouvernement du Canada, de Co-Lab R&D division de Ag-Cord inc., du vignoble de l'Orpailleur et du vignoble le Domaine des Côtes d'Ardoise.

Sources des photographies

Toutes les photographies ont été prises par Julien Saguez, à part celles dont la source est précisée en dessous. Tous les droits sont réservés. La reproduction des photographies est interdite à moins d'avoir obtenu l'autorisation de leur auteur.